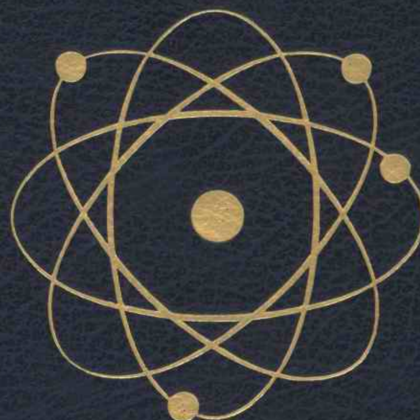
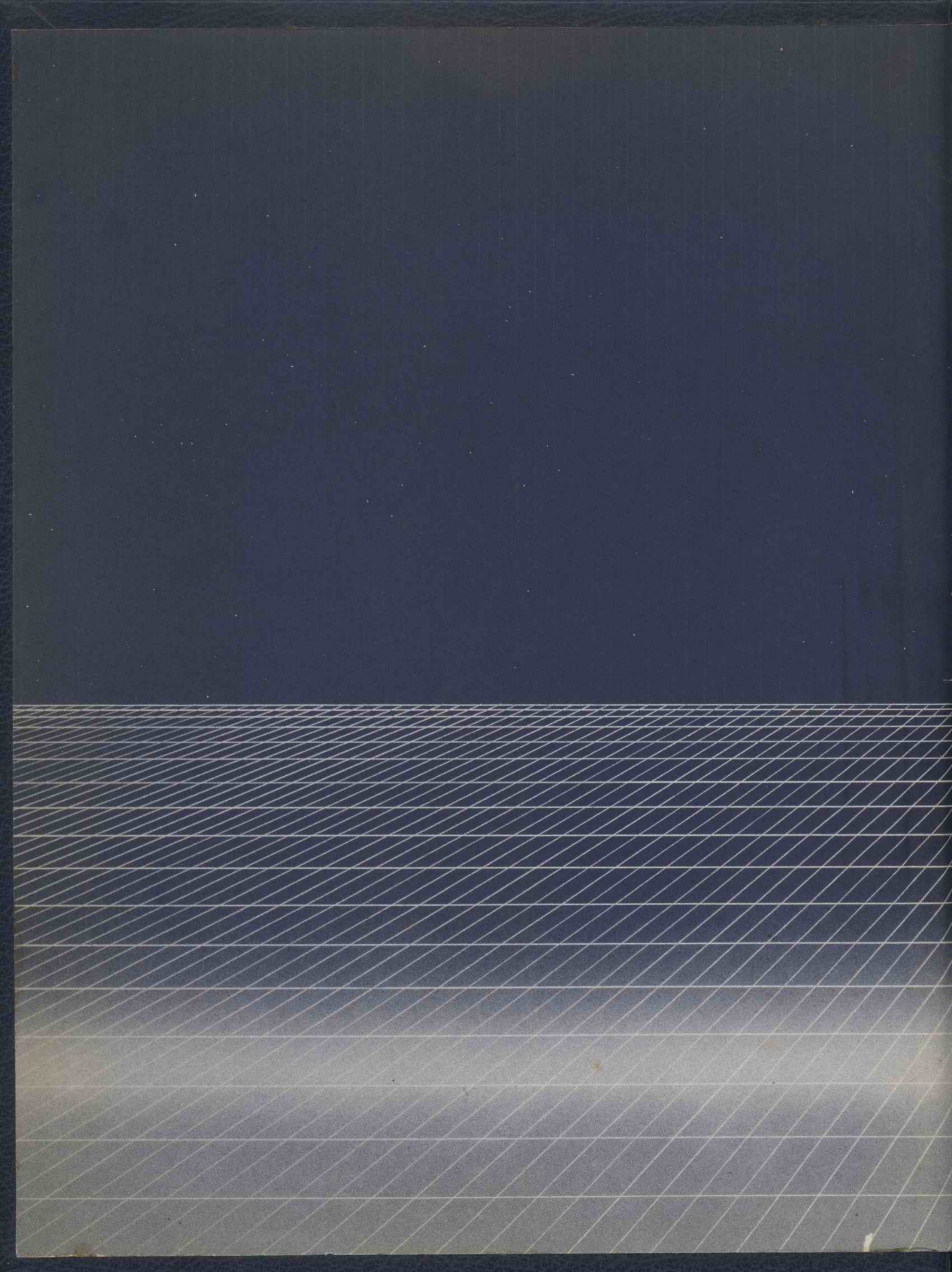


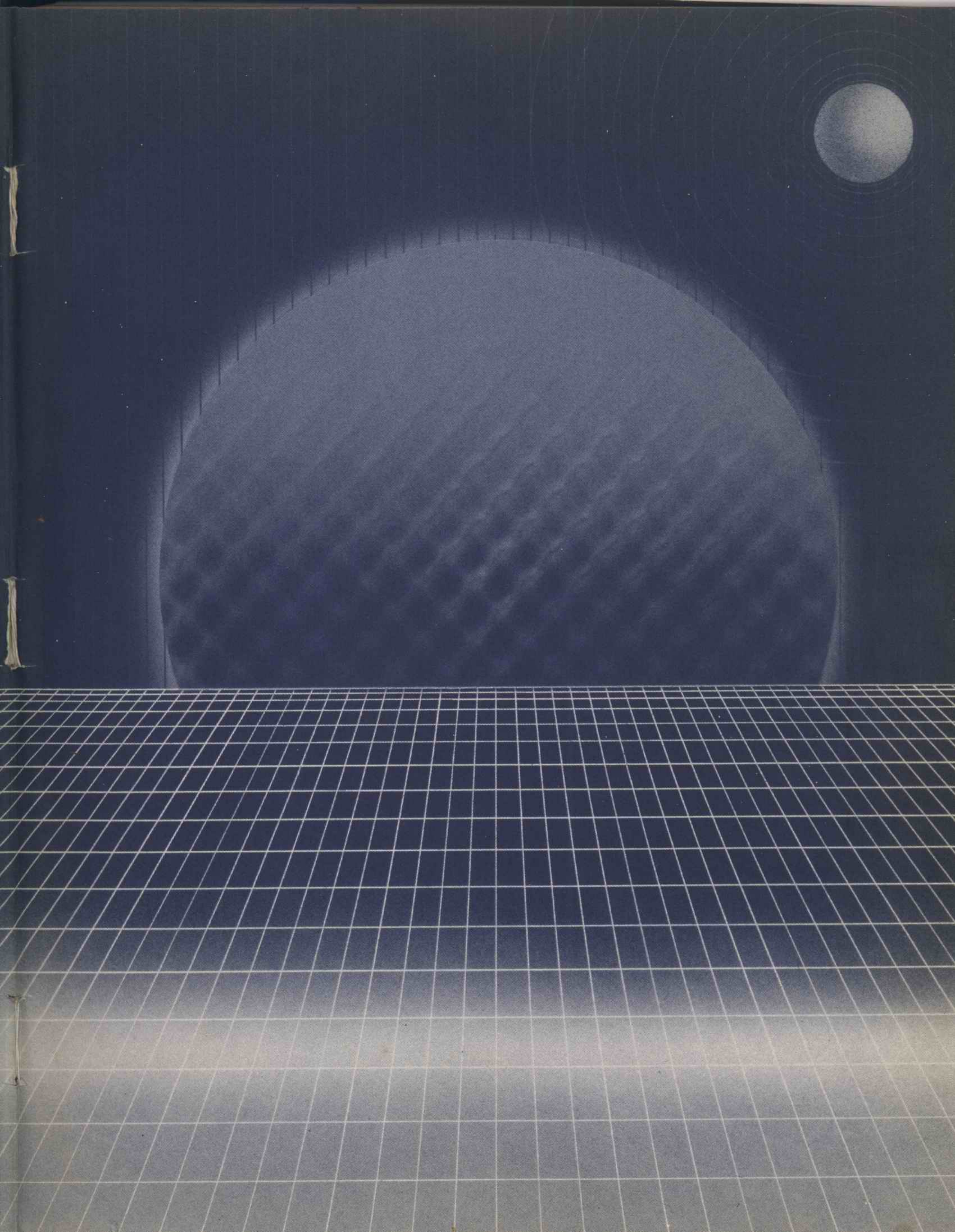
Ciencia y Técnica

3

BIOLUMI-
NISCENCIA
CIRUGIA

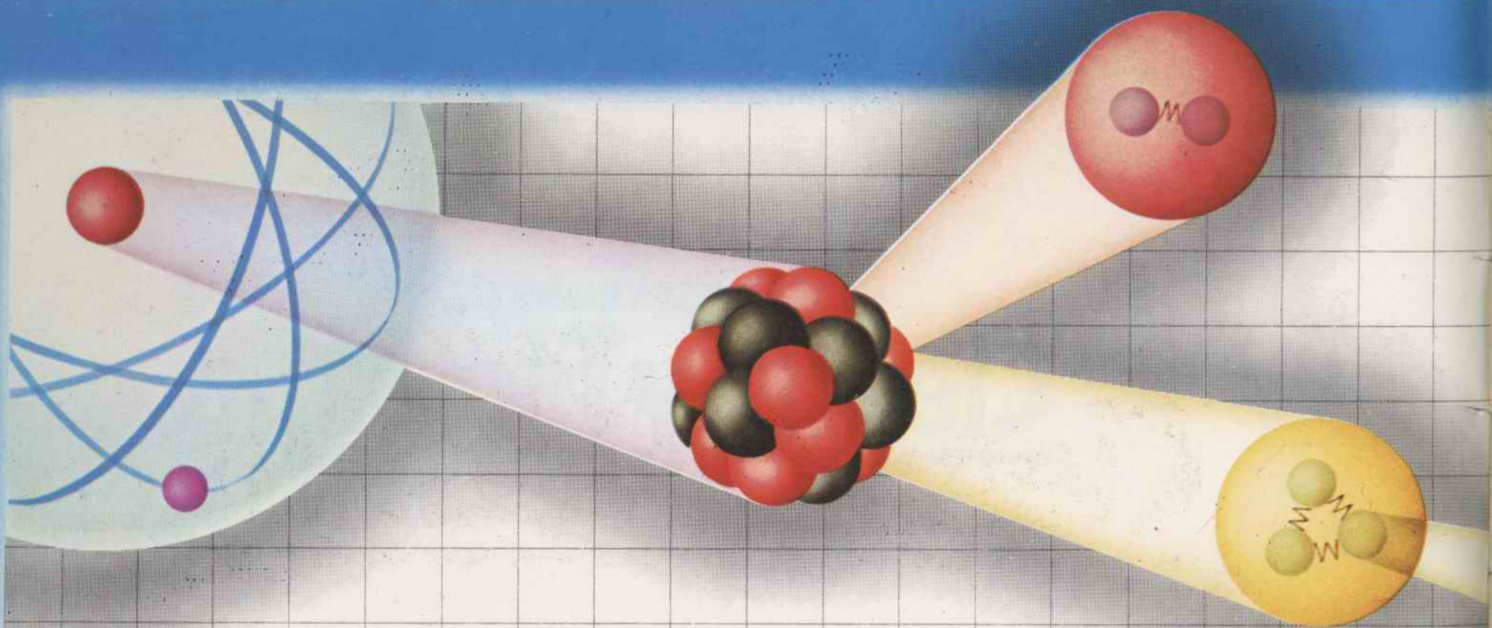
SALVAT



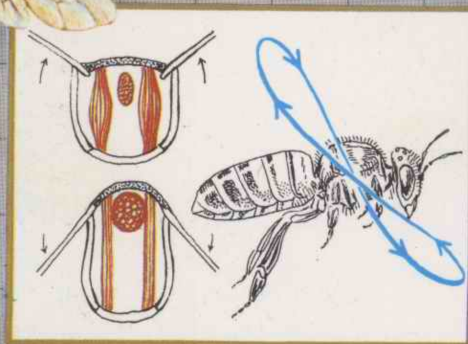


ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica







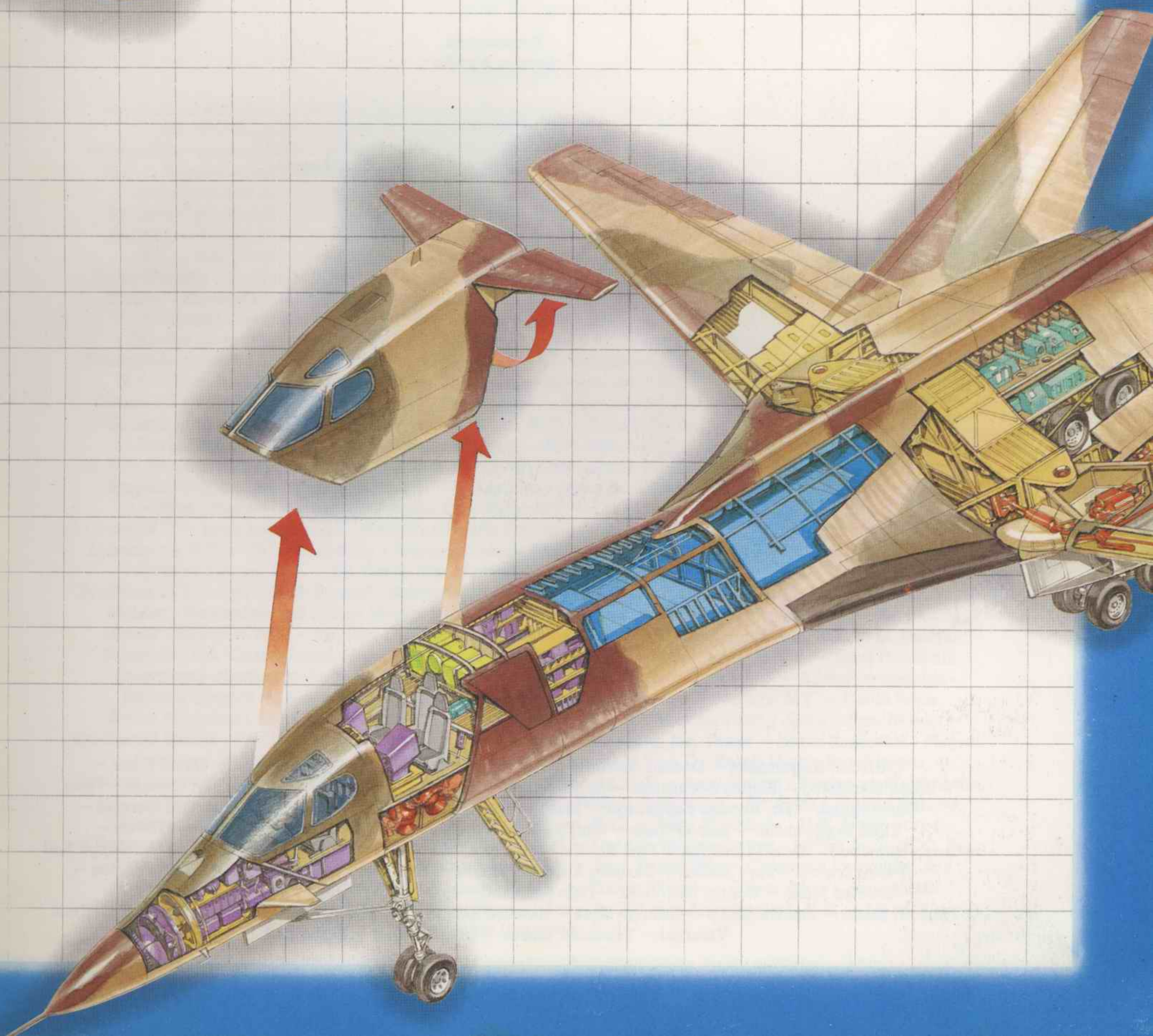


Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 41-49, Barcelona-08029, España

Impresión:
Imprenta Hispano-Americana, S.A.
Mallorca, 51, Barcelona-1985
Depósito Legal: NA. 125-1984
ISBN: 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-4493-8 (Volumen-3)
Printed in Spain

ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann – Donald Antrim – Timothy Bay – Trudy Bell – Shelley Berc – David Black – Diane Blanchard – Bonnie Borenstein – Judith Brister – Jean Brody – Serena Cha – Robert Crease – Peter Cunningham – Dr. Rhodes Fairbridge – Marguerite Feitlwitz – Corinna Gardner – Barbara George – Ellen Goldensohn – Jean Grasso – Fitz Patrick – Peter Gyallay-Pap – Steve Hall – James Harris – Doug Henwood – David Herndon – Paul Hoeffel – Andrea Kantor – Jonathan Katz – Jim Keegan – Philippa Keil – Percy Knauth – Bary Koffler – Barbara Kopit – Paulette Licitra – Becky London – Deborah Lumpee – Charles Mann – Robert MacVicar – Dale McAdoo – Fred Nadis – Joy Nager – Peter Oberlink – Robert Salter – Sandra Sharp – George Shea – Howard Smith – Zev Trachtenberg – Vieri Tucci – Edit Emili Villareal – Veronica Visser – Graham Yost – Sasha Zeif

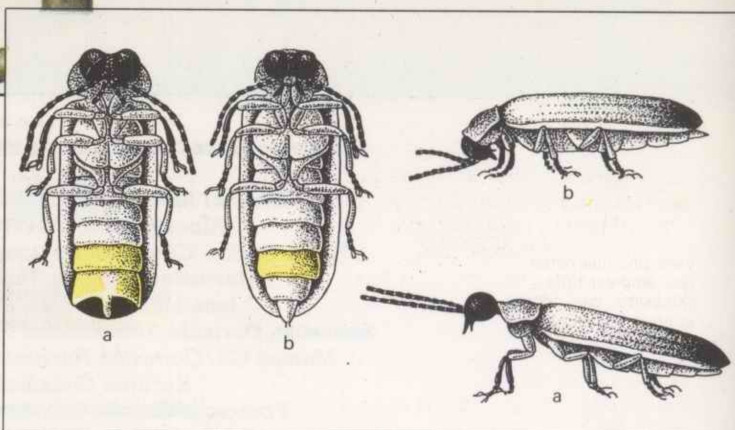
Colaboradores científicos de este volumen, edición española:

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
José Luis Comellas, *Universidad de Sevilla*
Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Enrique González del Pozo, *Físico*
Francisco Grande Covián, *Universidad de Zaragoza*
Ildefonso Irún, *Licenciado en Ciencias Físicas*
José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
Pedro L. Martín, *Ingeniero de Caminos*
Nieves Meléndez, *Universidad Complutense*
María Rosa Miracle, *Universidad de Valencia*
José M. Morán, *Universidad Politécnica de Madrid*
Enrique Riera, *Instituto "Torres Quevedo" del C.S.I.C.*
Ana Sabaté, *Universidad Complutense*
María Jesús Sainz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del espacio*
Lorenzo Sastre, *Ingeniero de telecomunicaciones*
Eduardo Zamarripa, *Piloto*

Consejo de Redacción

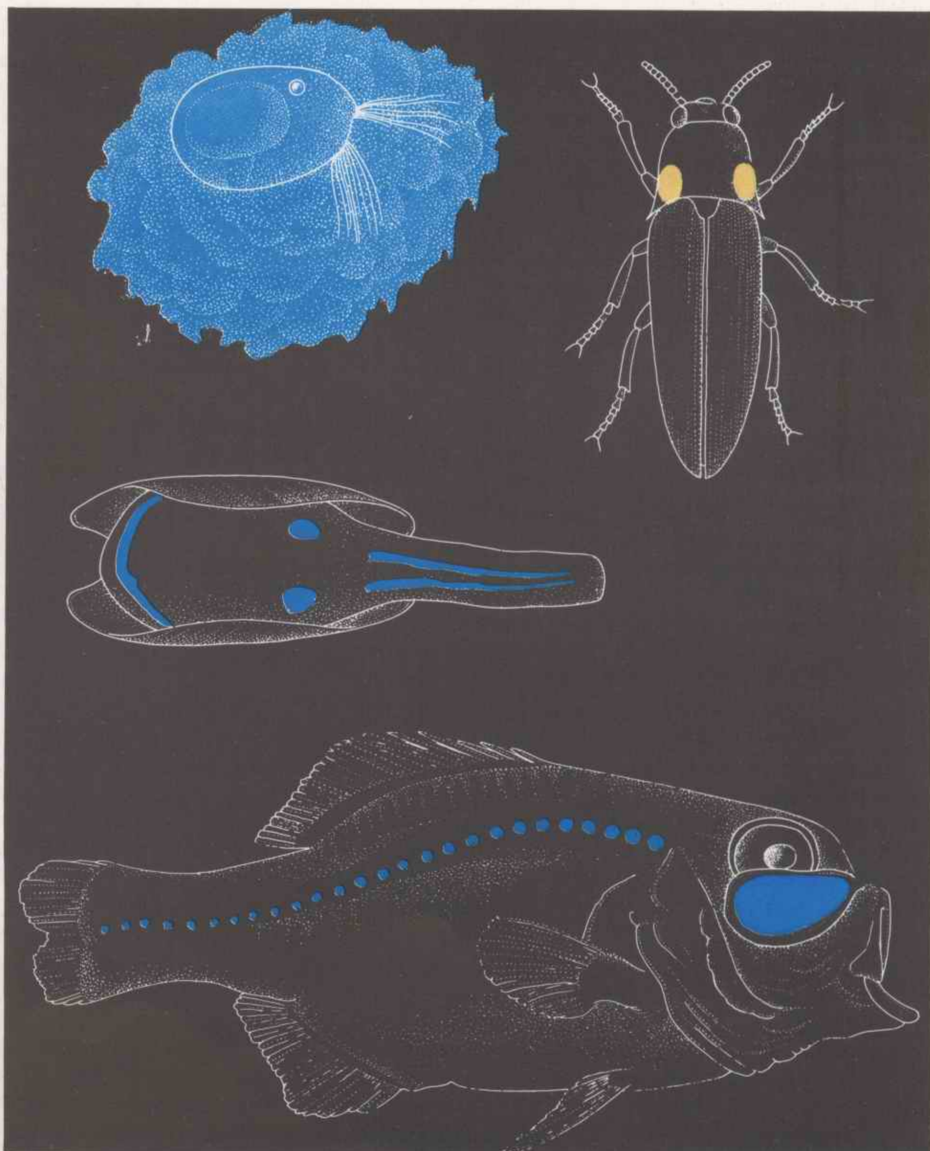
Bioluminiscencia





Arriba, el lado ventral y el perfil de machos (a) y hembras (b) de luciérnagas del género *Pteroptyx* (de *Le Scienze*, n.º 97, septiembre 1976). Debajo, de arriba a abajo y de izquierda a derecha, un pequeño crustáceo (*Cypridina holgendorfii*), un coleóptero (*Pyrophorus noctilucus*), un molusco (*Pholas dactylus*) y un pez (*Photeblepharon*), en el que la luz se produce por bacterias en simbiosis. En la página siguiente, y en el mismo orden, un calamar de mares profundos (*Thaumatolampas diadema*), una medusa (*Aequorea aequorea*), un protozoo (*Noctiluca miliaris*), una larva de lepidóptero (*Odontosyllis enopla*) y un hidrozoo (*Campanularia flexuosa*), todos ellos luminiscentes. En esta tabla se refleja la amplia variedad de animales que son luminiscentes. Se conocen especies luminiscentes en un tercio de los phyla y clases de animales identificados.

La capacidad de producir luz sin utilizar fuentes externas de energía ha sido un sueño permanente de la Humanidad. En la Naturaleza encontramos muchos ejemplos de plantas, animales, hongos o bacterias que emiten luz. El ejemplo más conocido quizás sea el de la luciérnaga; también la luminiscencia nocturna del océano o la producida durante la putrefacción de la madera tienen un origen biológico. Una característica común a los fenómenos de bioluminiscencia es que la luz se produce sin que se disipe prácticamente nada de energía bajo forma de calor. La bioluminiscencia es el resultado de reacciones químicas que tienen lugar en el organismo correspondiente bajo la dirección de catalizadores específicos o enzimas.



Las luciérnagas Las luciérnagas utilizan su luz para atraer a los individuos de sexo opuesto y facilitar el apareamiento. En cierta especie de luciérnaga, por ejemplo, el macho produce un destello de luz, de 0,3 segundos de duración, cada 5,5 segundos, a lo que la hembra de esa especie responde lanzando destellos con un retraso de exactamente 2 segundos. Sólo en esas condiciones el macho responderá a su vez, mientras que si el retraso es mayor o menor no responderá. Las señales luminosas de las luciérnagas son muy precisas: cada individuo sólo responde a las señales de otros miembros de su propia especie. Se evitan así apareamientos estériles entre individuos de especies diferentes.

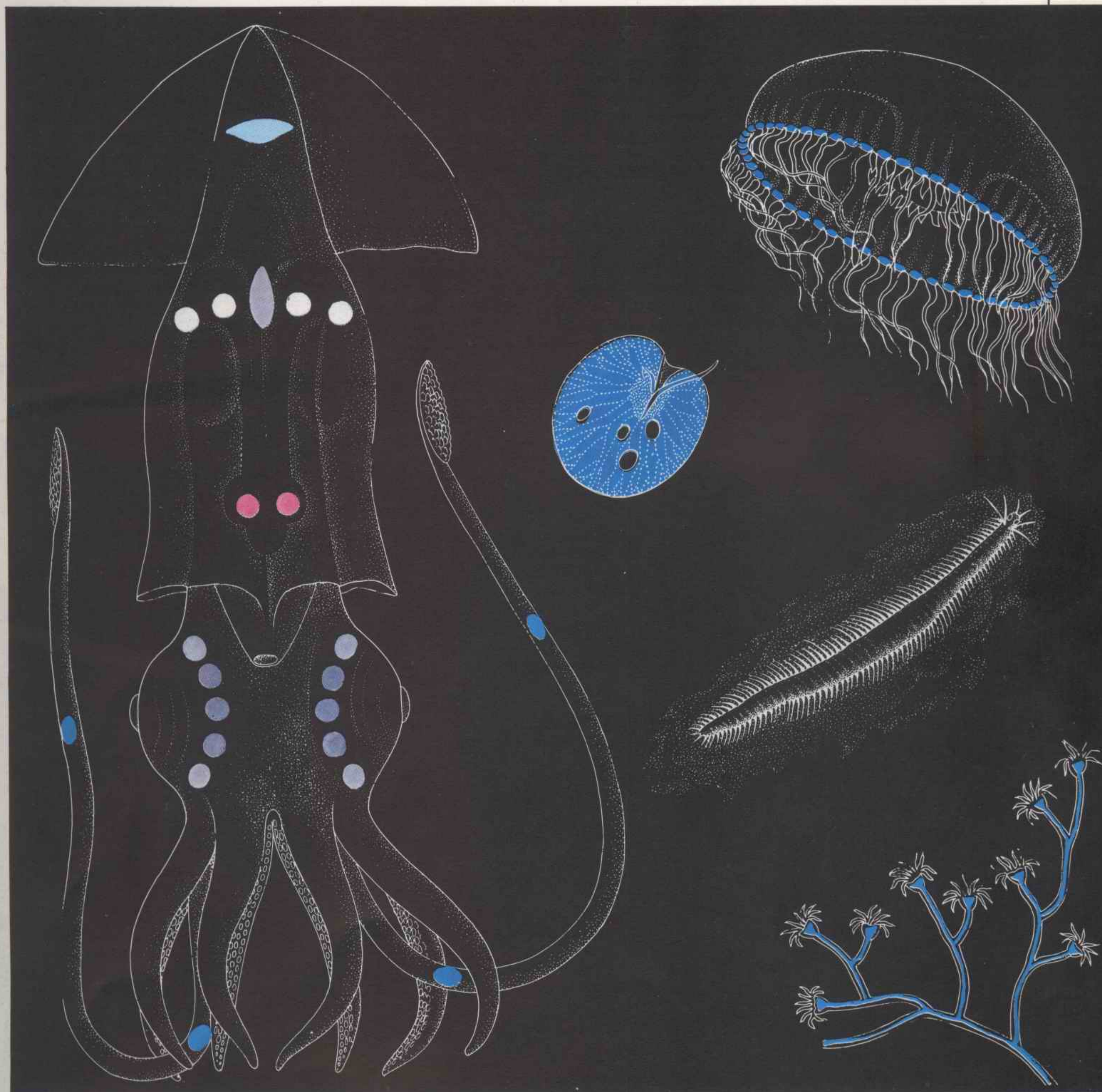
La luz de las luciérnagas puede ser utilizada por el hombre. Durante la II Guerra Mundial, los japoneses, en sus patrullas por la jungla, se humedecían con saliva la palma de la mano y esparcían sobre ella polvo de colas secas de luciérnaga. La luz producida era suficiente para leer mapas

y mensajes, pero demasiado débil para ser descubierta por el enemigo.

La luz de la luciérnaga se produce mediante una reacción química en la que la luciferina, una sustancia que la luciérnaga sintetiza, es oxidada. Esta reacción es catalizada por la enzima luciferasa y durante ella se consume ATP, la molécula que utilizan los seres vivos para almacenar energía. Los demás organismos bioluminiscentes producen su luz mediante procesos bastante parecidos al aquí mencionado de la luciérnaga.

Bacterias y otros organismos luminiscentes Las bacterias que crecen en la carne en putrefacción, algunas bacterias marinas y otras muchas son luminiscentes. También hay hongos y algas marinas que emiten luz. Ciertos peces producen en su interior una débil luminiscencia, que alcanza el exterior a través de su piel translúcida. Este singular fenómeno parece tener un significado adaptativo: se trata de peces que nadan cerca de la superficie y emiten su luz por la zona ventral, de modo que al confundirse con la claridad del cielo resultan invisibles para los grandes peces depredadores, que nadan por debajo de ellos. Aunque, como en el ejemplo anterior y en el de las luciérnagas, la bioluminiscencia puede resultar útil al organismo, es un rasgo dispensable. Por ejemplo, a partir de una cepa luminiscente de bacterias del género *photobacterium* se pueden aislar mutantes espontáneos que han perdido la capacidad de emitir luz, pero que son viables.

Véase **Bioelectricidad**



Biomasa

En general, se entiende por *biomasa* la materia orgánica viva que hay en un ecosistema, y se acostumbra a medir como el peso de todos los seres vivos del mismo por unidad de superficie. Muchas veces se considera también como biomasa la materia orgánica del sistema derivada de los seres vivos, ya sea como productos de su metabolismo (excrementos, secreciones, etc.) o bien por muerte de una parte (hojas de árboles caducifolios) o del organismo entero. Sin embargo, hay una acepción del término *biomasa*, de formulación reciente, que considera ésta como la materia orgánica producida por los seres vivos para producir energía, pero sólo con carácter restrictivo a determinados organismos que acumulan sustancias energéticas (madera, paja, azúcares, grasa, etc.). En este sentido, se puede decir que la biomasa es una de las más antiguas fuentes de energía sobre la Tierra: es, de hecho, el combustible que se crea a partir de la fotosíntesis, proceso que llevan a cabo las plantas, y que utiliza la luz solar, transformándola en energía química.

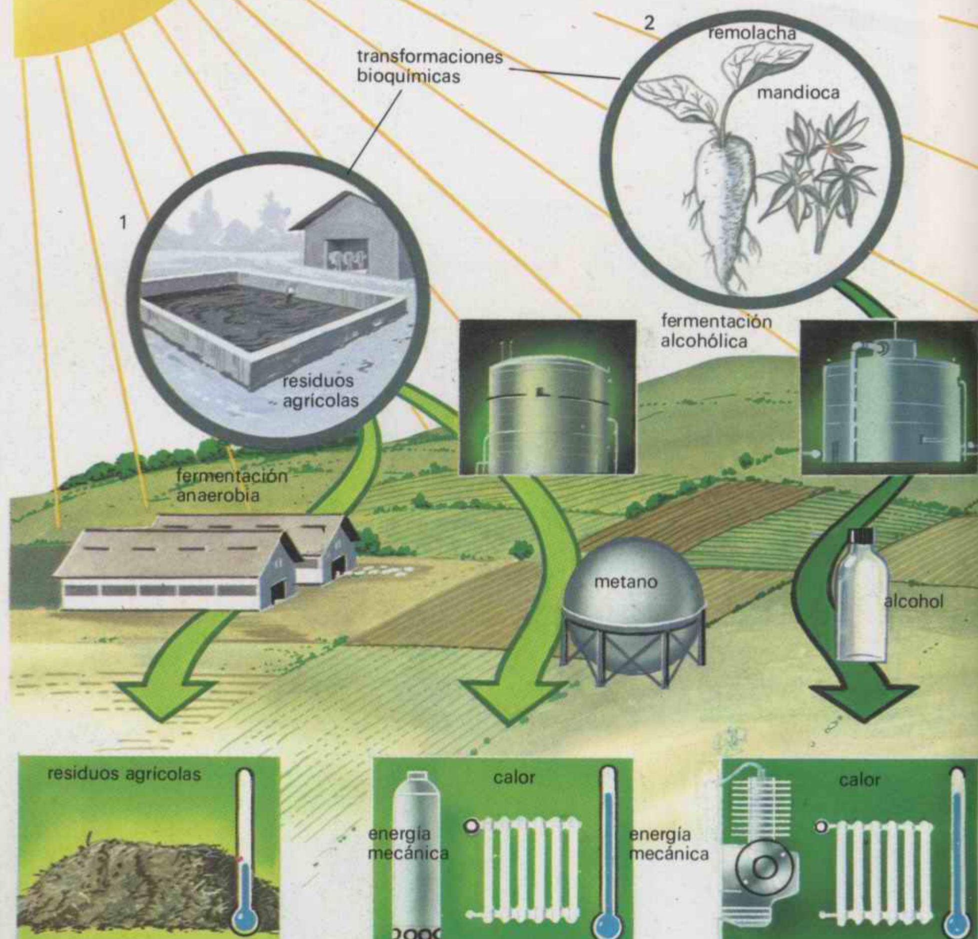
Un combustible de biomasa puede obtenerse por un proceso de elaboración simple, como la leña que se quema en las chimeneas, o, por el contrario, complejo, como el alcohol, producido por fermentación y posterior destilación de plantas u otros materiales orgánicos, que puede hacer funcionar los automóviles, los generadores y las máquinas. Las nuevas tecnologías y los problemas actuales que se refieren a la disminución de las reservas petrolíferas y de otros combustibles han cambiado el primitivo significado de la biomasa combustible. Las fuentes de biomasa combustible son relativamente escasas, más adecuadas al uso individual que nacional, a pesar de que satisfagan una amplia gama de tecnologías energéticas nuevas, eficientes y económicas.

Combustibles de origen fósil Los combustibles de biomasa son muy diferentes de los de origen fósil. El carbón, el petróleo, el gas natural y los demás combustibles fósiles son el resultado de largos procesos biogeoquímicos ocurridos en la corteza terrestre a lo largo de millones de años. Una vez extraídos y consumidos, los combustibles fósiles necesitan millones de años para volver a formarse. Actualmente se están utilizando cantidades crecientes de estas reservas, ya que las sociedades industrializadas las consumen a un ritmo cada vez mayor, con lo que pueden llegar a agotarse los yacimientos de más fácil acceso. La biomasa combustible, por el contrario, se regenera a partir de procesos bioquímicos simples y de abundante material biológico natural. Este puede ser sólido (madera), líquido (alcohol etílico o etanol) o gaseoso (metano). Puede derivar de desechos orgánicos como el estiércol, de cultivos agrícolas como la caña de azúcar, o proceder directamente de algunas especies raras de plantas como las Euforbiáceas, el árbol de la goma, que produce biológicamente hidrocarburos (compuestos de carbono semejantes a los que constituyen el petróleo y otros combustibles). Toda la biomasa combustible tiene dos características comunes: deriva de un material orgánico y se transforma en combustible sin que sean necesarios largos procesos geológicos.

Fuentes de biomasa energética La biomasa combustible se obtiene a partir de tres fuentes principales: de desechos animales o basura, de residuos vegetales, o de cultivos comestibles. De las tres, la de los residuos vegetales es la más importante a nivel mundial. Los residuos vegetales constituyen también un ejemplo útil para explicar algunos procesos fundamentales de la transformación de la biomasa, en los que realmente se recupera la energía solar que han captado las plantas para nutrirse y crecer. Este proceso puede considerarse como una "fotosíntesis al revés".

La fotosíntesis es un proceso químico, común a todas las plantas verdes de la Tierra, que utiliza la energía solar. Las



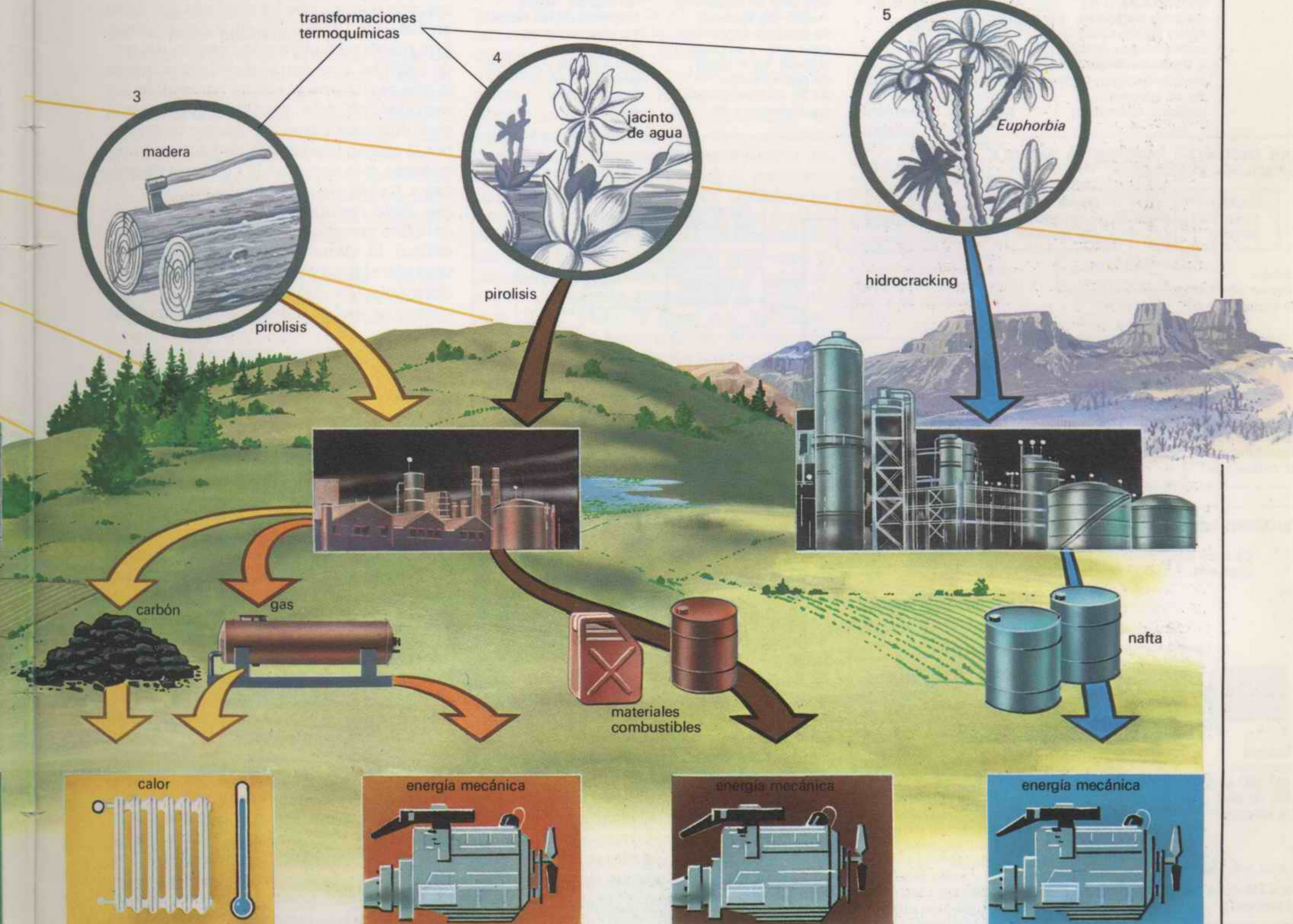


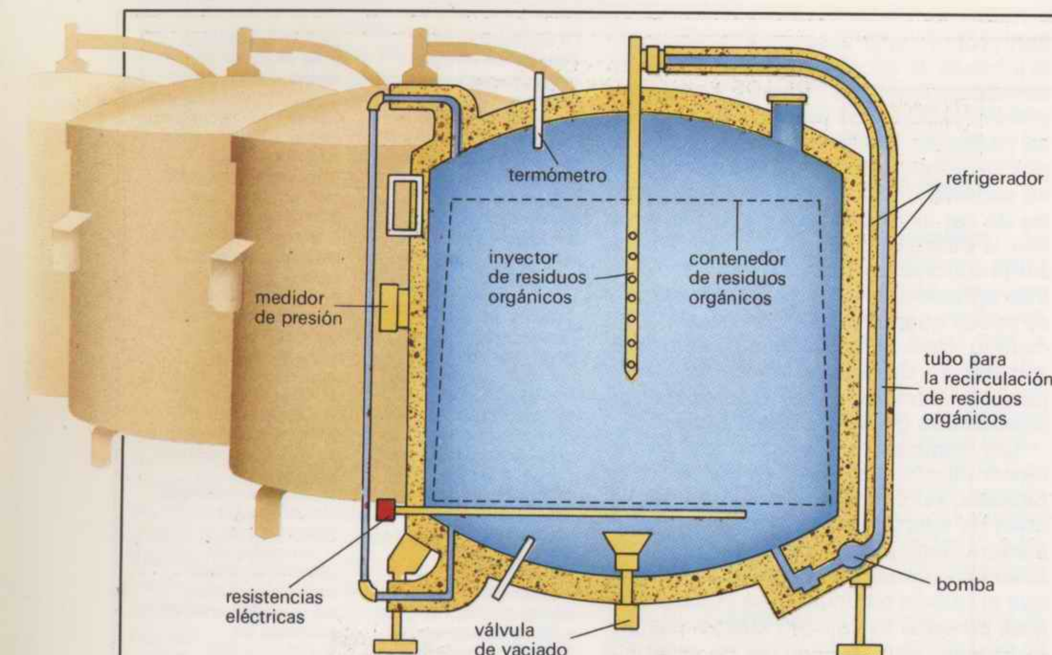
plantas transforman el dióxido de carbono del aire y del agua (obtenida a través de las raíces) en hidratos de carbono y oxígeno. Los carbohidratos, azúcares complejos y fuente de energía, que representan una reserva de combustible químico del organismo, permanecen en la planta. La transformación de la biomasa utiliza los azúcares de la planta y los convierte en combustibles simples y útiles. La transformación del material de partida en combustible puede ser llevada a cabo por agentes biológicos (como las bacterias y las levaduras utilizadas en la fermentación), por procesos termoquímicos (el calor provoca reacciones químicas en el material) o por una combinación de los dos sistemas. Para obtener energía de la biomasa se pueden utilizar muchos métodos, relativamente simples, que van desde la combustión normal a la pirolisis y la fermentación.

Del combustible a la energía Algunos combustibles de biomasa no necesitan experimentar ninguna transformación. Pueden proporcionar la energía directamente a través de la combustión, sin pasos intermedios. Ejemplos de esta clase son los árboles, tanto los de maderas duras como las coníferas. A diferencia de los otros tipos de biomasa combustible, la madera no necesita de transformación alguna antes de ser utilizada como combustible; en ella, la biomasa, como las melazas y otros subproductos de desecho de las industrias agrícolas, es el propio combustible y se puede quemar tal como se presenta. En cambio, otras biomasas deben fermentar, someterse a destilación o tratamientos especiales antes de poder utilizarse como combustible (fermentación alcohólica).

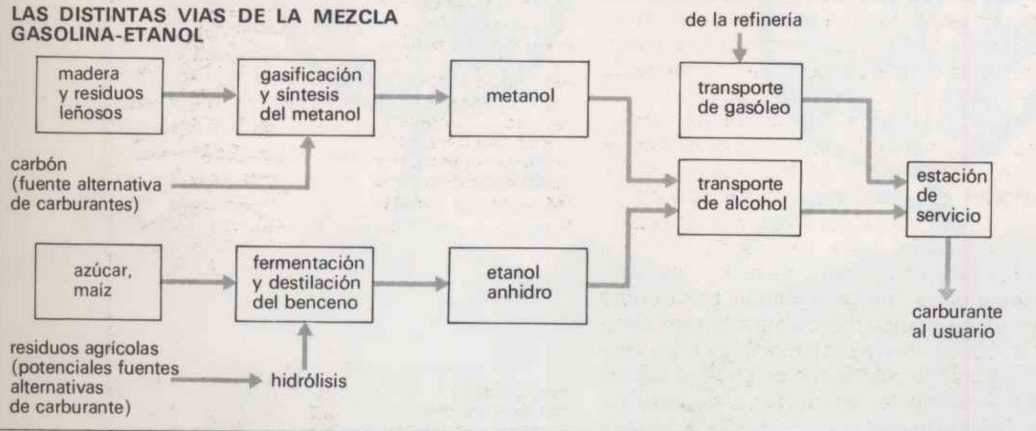
Los combustibles sólidos son los de menor interés entre los procedentes de la biomasa, valorándolos en cuanto a la cantidad de energía que producen, ya que la madera dura, por ejemplo, produce unas 3.200 kilocalorías por kilogramo, mientras que el carbón bituminoso, un combustible fósil, produce hasta 8.560 kilocalorías por kilogramo. Pero la madera se regenera mucho más rápidamente que el carbón y,

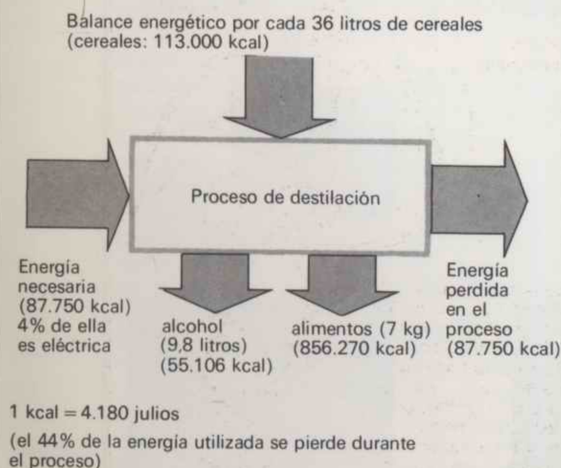
La conversión de la biomasa en energía, como alternativa al binomio petróleo-nucleares, es una de las esperanzas que podemos tener actualmente. En el dibujo, abajo, cuatro tipos de biomasa convertibles en energía. Residuos de origen doméstico y de ganadería (1): a través de la fermentación proporcionan directamente metano, que se puede utilizar como combustible gaseoso, sirviendo los lodos residuales como abono. Algunos vegetales como la remolacha, la caña de azúcar y la mandioca (2) permiten la fermentación alcohólica, y, tras sucesivas destilaciones a fin de concentrar el alcohol, se obtiene un combustible utilizable para la calefacción y los motores de combustión interna. La leña y los residuos leñosos (3), empleados desde siempre como leña para arder, pueden ser utilizados también para producir carbón de madera o para la producción de metanol. Además, por un proceso de pirolisis se obtienen diversos combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. La agroenergética (4 y 5), todavía en estudio, prevé el cultivo en grandes extensiones de especies vegetales para obtener sustancias orgánicas similares a los hidrocarburos y utilizables sin transformaciones especiales. Arriba, en la página anterior, procesos de transformación de la biomasa.





La producción de metano a partir de materias orgánicas, como las deyecciones animales, se consigue a través de un proceso de fermentación dentro de un contenedor especial, el digestor, en el cual, a una cierta temperatura y con la intervención de bacterias metanogénicas en condiciones anaerobias, tiene lugar la transformación en biogás. Optimizando el proceso a través de una serie de digestores —diez, por ejemplo, de 3 m³ de capacidad cada uno—, se pueden obtener, en el plazo de seis semanas, de 70 a 75 m³ de gas, equivalentes a 45 litros de combustible doméstico. Abajo, esquema de las varias transformaciones de biomasa en combustible y balance energético de la fermentación del trigo.





como él, se puede emplear para producir calor e incluso electricidad.

El uso del calor en la producción de combustible La pirolisis es un procedimiento en el que se usa calor para descomponer una sustancia en sus constituyentes químicos. Si se calientan virutas de madera hasta degradarlas químicamente y transformarlas en gas (proceso que se llama *destilación destructiva*), el líquido que se condensa en uno de los extremos del tubo de salida es metanol o alcohol de madera, combustible parecido a la gasolina.

Otros dos procesos que utilizan calor para transformar la biomasa en combustible son la *gasificación* y la *hidrogasificación*. En el primero, distintas materias como carbón o sustancias de desecho se someten a temperaturas muy altas para transformarlas en gas; después se separan y almacenan. En el segundo, residuos de sustancias orgánicas, que pueden ser de cualquier tipo, desde el estiércol hasta las virutas de madera, se someten, en presencia de hidrógeno, a altas temperaturas y presiones. Los productos finales son metano y etano, dos combustibles gaseosos.

La metanización de residuos orgánicos La descomposición de los residuos orgánicos llevada a cabo por microorganismos en un ambiente carente de oxígeno (conocida como *digestión anaerobia*) produce un gas muy apreciado, el metano. Es precisamente un proceso de este tipo el responsable de las emanaciones de metano, o "gas de los pantanos", en las zonas pantanosas naturales.

Cultivar la energía Dado que la mayor parte de la biomasa combustible se origina a partir de la fotosíntesis de las plantas verdes, es posible pensar en "bosques energéticos" y en "fábricas de combustibles" como una manera fácil de reducir la acuciante escasez de combustibles fósiles. Así, el cultivo de la caña de azúcar, por ejemplo, se ha aplicado con éxito en Estados Unidos, Brasil y otros países. Esta planta se cultiva y se cosecha del modo habitual, y se extrae de ella la pulpa de la que se obtiene el azúcar comestible; los residuos de este proceso, que todavía contienen azúcares, se hacen fermentar por la acción bioquímica de bacterias y levaduras, que escinden la molécula de azúcar a través de un proceso en varias fases, cuyo resultado final es un líquido alcohólico conocido como *etanol* (o alcohol etílico). El etanol —dato interesante— es también el producto final de la vinificación (fermentación del mosto de uva), y una sustancia capaz de hacer funcionar un coche.

Cualquier cereal importante, como el trigo o el maíz, puede ser utilizado para obtener alcohol, aunque el rendimiento dado por la caña de azúcar y la melaza azucarera es mayor. Son necesarios 6,8 kilogramos de caña para obtener 4,5 litros de etanol. Un combustible como el etanol es erróneamente considerado de difícil obtención, poco práctico y de escaso rendimiento; sin embargo, podría llegar a ser una posible alternativa de la gasolina en los próximos años. El gasohol, un combustible constituido por un 10% de etanol y un 90% de gasolina, muy empleado durante los años treinta en EE UU, ha vuelto a ser reutilizado en los últimos años, principalmente en los países que son grandes productores de caña de azúcar.

El experimento brasileño Brasil, adoptó en los años setenta un sistema de energía "agrícola" a gran escala, cultivando enormes extensiones de caña de azúcar y de *cassava* (un tubérculo rico en almidón) con el único fin de transformar la cosecha en combustible para vehículos. Este sistema de producción es particularmente rentable, porque la corteza, rica en celulosa, puede quemarse y utilizarse en

MEJORES COSECHAS (VALORES MEDIOS) EN LAS REGIONES TEMPLADAS EUROPEAS

Tipo de cosechas o de ambiente	Cosecha en "peso seco"		Eficiencia en la fotosíntesis
	tm/ha/año	g/m²/día	% de la radiación total
Cosechas perennes	29	8	1,0
Cosechas anuales	22	6	0,8
Pastos	22	6	0,8
Bosques perennifolios	22	6	0,8
Bosques caducifolios	15	4	0,6
Sabana	11	3	—

La eficiencia fotosintética viene dada por la relación entre la producción o cantidad de biomasa vegetal nueva formada en un año por hectárea de terreno y la cantidad media de radiación solar sobre la misma superficie.

PRODUCCION DE ALCOHOL DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS

Tipo de cultivo	Productividad (tm/ha)	Producción de alcohol (l/ha)
Caña de azúcar (Brasil)	52,2	3.630
Sorgo dulce (EE UU)	46,5	3.554
Maíz (EE UU)	5,7	2.200
Mandioca (Brasil)	11,9	2.137
Sorgo de grano (EE UU)	3,5	1.362
Trigo (EE UU)	2,1	773

las calderas. Dicha combustión produce suficiente vapor como para poder ser utilizado en la planta de obtención de azúcar y en las operaciones de fermentación y destilación, proporcionando así la energía necesaria para todo el proceso.

Desde 1978, Brasil produce cerca de 3.500 millones de litros de etanol al año. La producción es tan eficaz, que el alcohol puede ser utilizado como gasohol, bien en mezcla al 80% de alcohol y 20% de gasolina, o bien mezclado con agua (95% de alcohol y 5% de agua). Alrededor de 300.000 brasileños, con sólo una pequeña transformación en los motores de sus vehículos, viajan utilizando esta mezcla.

Plantas que producen petróleo La mayor parte de la biomasa requiere un proceso de transformación para poder ser utilizada como combustible. Sin embargo, hay muchas plantas que, sin la interveción del hombre, producen hidrocarburos (compuestos de carbono e hidrógeno que usualmente se asocian con el petróleo). Por lo tanto, la idea de "plantaciones de petróleo" no debe sonar a ciencia-ficción, como se pensó en un tiempo. El ejemplo más simple de una planta de este tipo puede ser el del árbol de la goma, abundante en Malasia, que produce una emulsión gomosa de hidrocarburos en solución acuosa, conocida con el nombre de *látex*. Dicha planta produce esos combustibles fundamentalmente del mismo modo en que los azúcares, una vez extraídos de la planta, pueden ser transformados artificialmente en combustible.

El árbol de la goma, como todas las demás plantas, obtiene el carbono del dióxido de carbono del aire, y mediante el proceso de fotosíntesis lo transforma en azúcares. En esa reacción se liberan también ácidos orgánicos cuyas moléculas, además de carbono e hidrógeno, contienen oxígeno. A diferencia de las otras plantas, el árbol de la goma utiliza la fermentación para reducir a la mitad el consumo de oxígeno; con un sistema bioquímico más rápido "se desprende" de las últimas moléculas de oxígeno, dejando sólo los átomos de carbono e hidrógeno, es decir, el hidrocarburo.

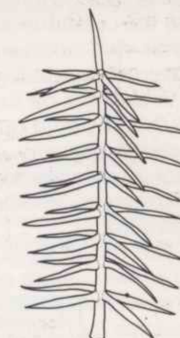
Dos plantas similares al árbol de la goma, la *Euphorbia tirucalli* y la *Euphorbia lathyris*, se han cultivado experimentalmente en pequeñas plantaciones a fin de verificar su capacidad potencial para producir hidrocarburos. Ambas plantas producen un látex que, aun eliminando el agua, permanece líquido: esto significa que es posible extraer de estas plantas un hidrocarburo líquido similar al petróleo. Los últimos resultados han establecido que una hectárea cultivada puede producir al año entre 8 y 30 litros de esa sustancia. Los expertos se muestran optimistas y piensan que utilizando híbridos y cultivos especiales puede aumentarse la producción anual hasta 75 litros por hectárea.

De lo dicho hasta aquí se deduce que la biomasa no es capaz de resolver el problema de la energía mundial, pero, como forma de combustible barato y regenerable, constituye una alternativa muy atractiva para los países que no pueden soportar el aumento de precio del petróleo.

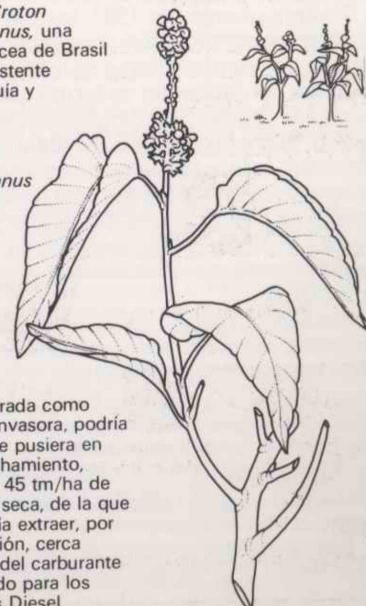
La biomasa es energía que proviene en último término del Sol. Las plantas, si bien son admirables laboratorios químicos que producen innumerables sustancias de gran interés (alimentario, farmacéutico, etc.), son muy poco eficientes en el aprovechamiento de la energía solar. La producción media de biomasa en la biosfera tiene una eficiencia del uno por mil, que en cultivos en condiciones óptimas podría llegar a ser del 1%. Las placas solares tienen mayor rendimiento, del orden del 5 al 15%. La extracción de energía de la biomasa no debería ser el primer objetivo de los cultivos de plantas, pero sí podría obtenerse de los restos de las mismas después de haberlas utilizado para otros usos. Las basuras, los residuos vegetales de todo tipo pueden tratarse para obtener energía; de esta manera se obtendría el aprovechamiento integral de los cultivos.

Véase **Biogás; Bosque; Madera; Zoología y zootecnia**





Euphorbia lathyris, planta interesante para su aprovechamiento energético. Se pueden extraer de ella hidrocarburos. En Brasil, donde viven espontáneamente ésta y otras Euforbias, hay en funcionamiento una planta que proporciona 600 hl de combustible al día.



Abajo, *Croton sonderianus*, una Euforbiácea de Brasil muy resistente a la sequía y considerada como planta invasora, podría dar, si se pusiera en aprovechamiento, de 14 a 45 tm/ha de materia seca, de la que se podría extraer, por destilación, cerca del 1% del carburante empleado para los motores Diesel.

Bioquímica

Bioquímica significa, literalmente, "química de la vida". Este término define, pues, a la rama de la ciencia que trata del estudio de la naturaleza química de los constituyentes de los seres vivos, así como de los cambios y transformaciones que estos compuestos experimentan en el curso de la actividad vital.

La Bioquímica presenta hoy un desarrollo notable y sus continuos progresos están repercutiendo muy positivamente en muchos aspectos de nuestra vida cotidiana, entre los que cabe destacar el campo de la salud. Su desarrollo se ha realizado casi exclusivamente durante nuestro siglo, por lo que podemos considerarla como una ciencia joven.

Una de las razones principales que motivaron ese retraso de la aparición de la Bioquímica en la ciencia contemporánea fue, sin duda, la enorme popularidad de que disfrutó la *teoría vitalista* entre los estudiosos de la Biología hasta finales del siglo XIX. Los defensores de esta teoría sostenían que tanto la generación de la vida como el mantenimiento de los procesos vitales estaban controlados por una fuerza inexplicable e inconmensurable (la "fuerza vital").

Debemos tener en cuenta que incluso las primeras conclusiones obtenidas por los investigadores pioneros en el estudio de los constituyentes químicos de la materia viva reforzaron la teoría vitalista. Se observó que todos los compuestos químicos aislados de los seres vivos contenían carbono, por lo que a su estudio se le denominó *Química orgánica*, en contraposición al estudio de los componentes de la materia inanimada, que se llamó *Química inorgánica*.

Sin embargo, el vitalismo sufrió un duro revés cuando en 1828 Wöhler sintetizó urea en su laboratorio a partir de dos compuestos inorgánicos: amonio y cianato de plomo. Este hecho supuso la demostración irrefutable de que los compuestos del carbono no tienen que ser formados necesariamente por los seres vivos.

Posteriormente, en 1897, los hermanos Buchner observaron fortuitamente que extractos de levadura libres de células eran capaces de fermentar sacarosa para dar lugar a la producción de alcohol (fermentación alcohólica). Este descubrimiento demostró que la fermentación puede realizarse fuera de los seres vivos, lo que supuso a su vez la refutación definitiva del dogma vitalista. El metabolismo se podía estudiar mediante criterios exclusivamente químicos.

Harden y Young (1905) profundizaron en estos estudios y descubrieron, entre otros importantes aspectos, que la fermentación alcohólica requiere la presencia de fosfato inorgánico. Sus trabajos dieron un impulso decisivo al nacimiento de la Bioquímica moderna. El término *Bioquímica* había sido acuñado precisamente en 1903 por el científico Neuberg.

Desde una perspectiva histórica, podemos decir que no fue posible formular científicamente las cuestiones básicas acerca de la naturaleza de la vida hasta que no se esclarecieron las leyes fundamentales de la Física y de la Química que gobiernan el universo inanimado. Y estas condiciones no se dieron hasta el primer cuarto de nuestro siglo, período en el que se pudieron formular las primeras respuestas a estas cuestiones, que mostraron de forma inequívoca que también los sistemas vivientes obedecen las leyes físicas y químicas.

Objeto de la Bioquímica El objeto de la Bioquímica es precisamente dar respuesta experimentalmente a las cuestiones fundamentales sobre la vida que el hombre se ha venido planteando desde la Antigüedad. Previamente debemos decir que en el siglo actual hemos dado un paso de gigante en la comprensión de estos problemas, pero que, evidentemente, ninguna de estas cuestiones ha quedado totalmente solucionada. De hecho, la investigación actual sigue centrada en el estudio de casi los mismos problemas que interesaban cuando nació la Bioquímica. Más aún, hoy podemos observar que muchas de estas áreas de interés se han constituido en disciplinas científicas que, al ir acumulando conocimientos y planteamientos experimentales específicos, disfrutan de un desarrollo hasta cierto punto autónomo.

Seguidamente, indicaremos, sin ánimo de ser exhaustivos, algunos de los campos principales en que está centrada la Bioquímica actual. Asimismo, haremos una breve mención de los métodos instrumentales aplicados en la realización de dichos estudios. Ya hemos indicado que la Bioquímica es una ciencia experimental cuyos progresos han seguido necesariamente el ritmo marcado por la tecnología disponible en cada momento.

Composición y estructura de las macromoléculas características de los seres vivos Los pioneros de la Bioquímica reconocieron que los seres vivos, además de un alto contenido en agua, presentan cuatro sustancias fundamentales, que son: proteínas, ácidos nucleicos, hidratos de carbono y lípidos. Estas sustancias están presentes en forma de macromoléculas, constituidas por la unión covalente de otras moléculas más pequeñas o eslabones básicos. Una larga serie de técnicas paulatinamente accesibles a los bioquímicos (*electroforesis*, *cromatografía*, *espectrofotometría*, *ultracentrifugación*, etc.) han permitido aislar y caracterizar los principales tipos de moléculas presentes en los seres vivos, y después, instrumentos tales como los *autoanalizadores* de aminoácidos, han hecho posible la identificación de los componentes de las macromoléculas, así como la aclaración de sus secuencias covalentes. También es digna de mención la técnica de *difracción de rayos X* en estructuras cristalinas, que ha desvelado la conformación tridimensional de moléculas tales como las proteínas y los ácidos nucleicos.

La conclusión fundamental de estos trabajos es que los componentes moleculares de todos los seres vivos son cualitativamente muy similares entre sí. Sólo se aprecian a este nivel diferencias de tipo cuantitativo, lo que supone un refuerzo al principio básico de la *unidad de la vida*, primeramente sugerido por la teoría celular.

Estructura celular El conocimiento de la arquitectura celular es también muy importante para el bioquímico. A éste le interesa en particular la topología celular como asiento de las reacciones químicas de la vida.

Por ello, la introducción de la técnica de la *microscopía electrónica*, con la caracterización de la organización subcelular, de sus estructuras y orgánulos (tales como el retículo endoplásmico, las mitocondrias, los ribosomas, los cloroplastos, etc.), fue crucial para la comprensión del metabolismo celular. Hoy sabemos que cada una de las partes de la célula realiza una función especializada.

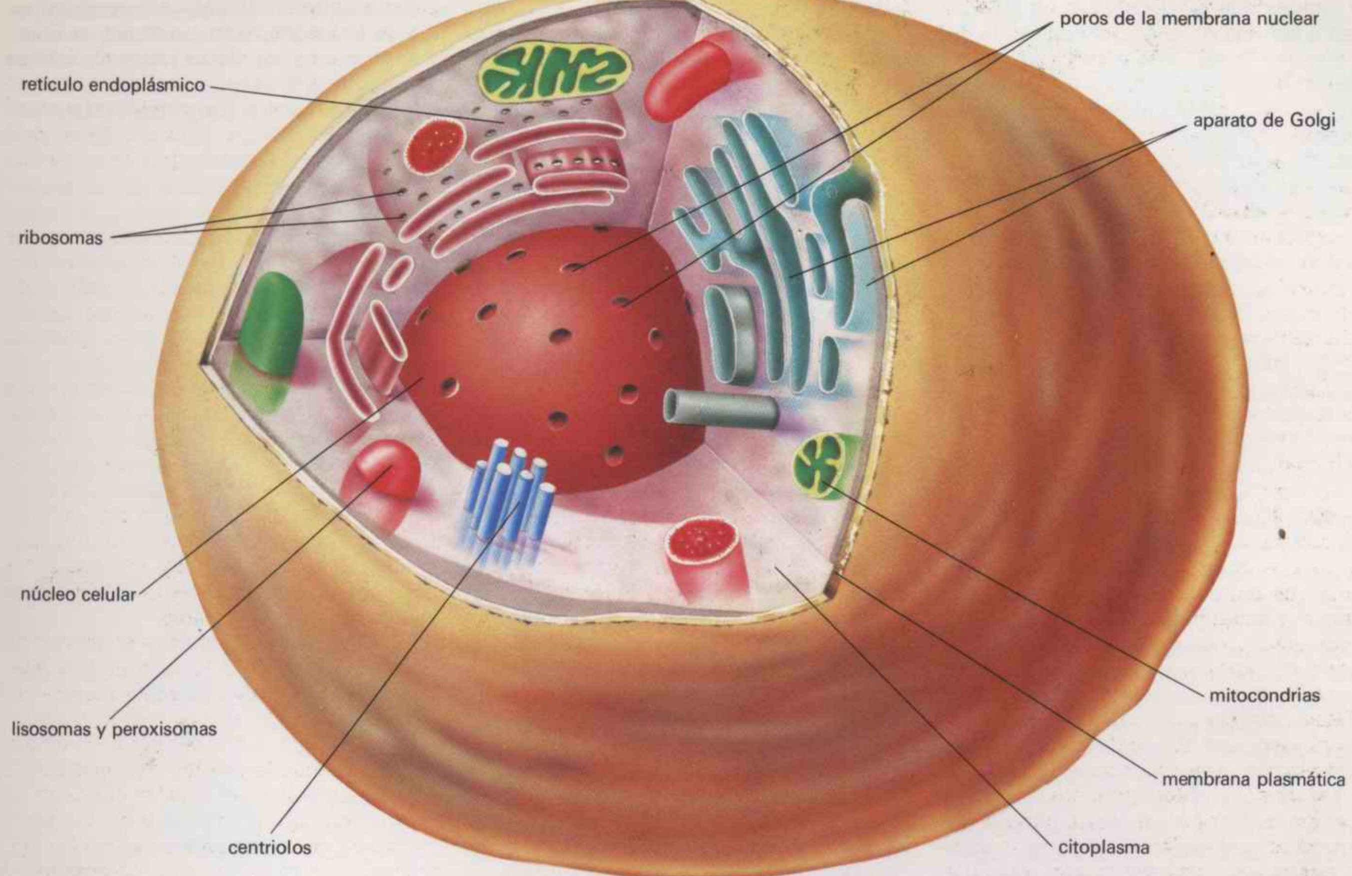
Mención especial merece el estudio de las *biomembranas*, a las que en principio se atribuyó un papel de mera barrera entre una célula y otra o el medio, o de separación entre los diferentes compartimentos subcelulares. Hoy sabemos que la membrana celular es el lugar donde se localizan múltiples mecanismos unidireccionales que sirven para controlar la composición electrolítica del citoplasma, y que además posee numerosos receptores especializados, capaces de recibir mensajes de otras células o del medio.

Los enzimas Los enzimas son proteínas que catalizan de forma específica un único tipo de reacción biológica. En su gran mayoría, las reacciones de la vida no se realizan de forma espontánea, lo que quiere decir que serían imposibles sin el auxilio de los enzimas. De ahí que su estudio pueda considerarse como uno de los aspectos centrales de la investigación bioquímica. El término *enzima* fue propuesto por Kuhne ya en 1877 para definir los "fermentos desorganizados", distinguiéndolos así de las bacterias, que también se denominaban "fermentos". En 1926, Summer aisló el enzima ureasa en forma de proteína cristalina. Desde ese momento se han aislado centenares de enzimas y todos ellos han resultado ser proteínas diferentes, con características únicas en cada caso.

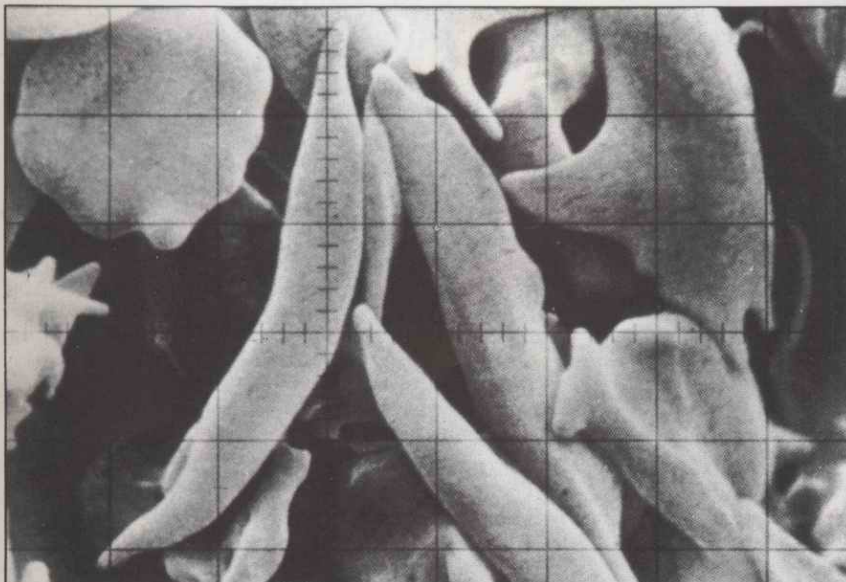
El estudio de este campo es hoy el objeto de la *Enzimología*, rama de la Bioquímica que utiliza fundamentalmente las técnicas de química de proteínas y de determinación cinética de las reacciones químicas.

Metabolismo Los estudios metabólicos han despertado desde siempre el interés de los bioquímicos. De hecho, fue este tipo de estudios el que más decisivamente contribuyó al nacimiento de la Bioquímica.

ESTRUCTURA DE UNA CELULA ANIMAL



La estructura interna de la célula ha podido ser conocida en detalle gracias a la utilización del microscopio electrónico. Desde el punto de vista bioquímico, interesa conocer la topología celular para ubicar en ella las distintas reacciones metabólicas que tienen lugar en el seno de la célula. Se ha podido demostrar que la presencia de membranas de distintos tipos en el interior de la célula delimita una serie de compartimentos celulares diferentes que realizan una función específica. El *núcleo celular* contiene los cromosomas, que son los portadores de la información genética almacenada concretamente en la molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN). El resto del contenido celular, delimitado por la *membrana plasmática*, se denomina *citoplasma*, y es el asiento de la mayoría de las reacciones metabólicas. En el citoplasma se distinguen una serie de estructuras características. Entre ellas destacan las *mitocondrias*, que son unos orgánulos encargados de llevar a cabo la respiración celular. Existen también *lisosomas* y *peroxisomas*, vesículas que contienen enzimas hidrolíticos y oxidativos implicados en la digestión intracelular. Una red de canales de tipo membranoso realiza la síntesis y transporte de las macromoléculas que forman la estructura de las membranas o que son secretadas por la célula; estos canales son el *retículo endoplásmico* y el *aparato de Golgi*. Finalmente, unas partículas denominadas *ribosomas* son las encargadas de realizar la síntesis proteica.



Dr. Patricia N. Farnsworth, Barnard College

Un ejemplo clásico de enfermedad molecular lo constituye la anemia falciforme. Se trata de una enfermedad hereditaria cuya causa es la producción, por los pacientes afectados, de moléculas de hemoglobina defectuosas. La molécula de hemoglobina de humanos adultos contiene cuatro cadenas peptídicas ensambladas e iguales dos a dos: dos cadenas llamadas α y otras dos cadenas β. Mediante técnicas electroforésicas se ha podido demostrar que la hemoglobina falciforme presenta en un punto concreto de las cadenas β, un aminoácido cambiado en relación con la hemoglobina normal. Esta sustitución de un único aminoácido no tiene ninguna repercusión cuando los globulos rojos se encuentran en presencia de una presión normal de oxígeno. Sin embargo, cuando la presión de oxígeno disminuye, las moléculas de hemoglobina defectuosas se agregan formando unos filamentos que llegan a alterar la forma de los hematíes (que adoptan una forma de hoz característica). Subsiguientemente esos glóbulos rojos alterados pueden obstruir pequeños vasos sanguíneos en los tejidos periféricos y dar el cuadro de anemia característico. En la imagen, hematíes falciformes.

DOBLE HELICE DEL ADN

La molécula del ADN presenta una estructura de doble hélice. Cada una de las dos "hebras" que intervienen está formada por un → polímero de azúcar y fosfato que se disponen a modo de columna vertebral, de la que sobresalen lateralmente unos → restos químicos que son bases nitrogenadas (las bases púricas y pirimidínicas). Las bases presentes en una hebra pueden aparearse con las bases de otra, siempre → que exista complementariedad, formando unas →

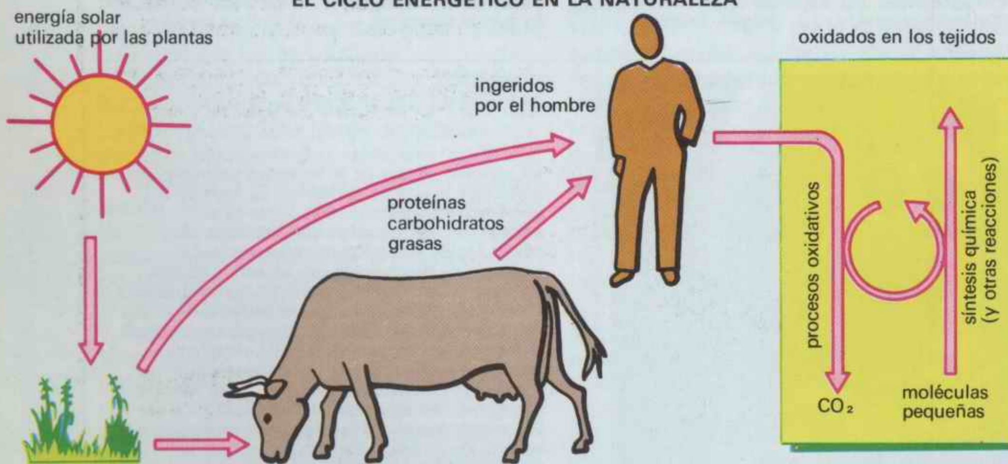
Mucho hemos avanzado en el conocimiento de estos aspectos, y así hoy sabemos cuáles son fundamentalmente las sustancias precisas para satisfacer las necesidades nutritivas del hombre y del resto de los organismos. Hemos podido determinar también cuáles son los procesos químicos que permiten la transformación de los materiales procedentes de la dieta en los compuestos característicos de las células de una especie concreta. Asimismo, conocemos la forma en que la célula obtiene la energía necesaria para el mantenimiento de sus procesos vitales a partir de la oxidación de los compuestos que asimila como nutrientes.

Una vez esclarecidas las vías metabólicas más importantes, tarea de los primeros cincuenta años de nuestro siglo, el interés actual está centrado en el estudio de la *regulación metabólica*. Este campo de la Bioquímica trata de desvelar los mecanismos mediante los que la célula puede sincronizar armoniosamente los millares de reacciones químicas diferentes que ocurren simultáneamente en su seno. También es de gran interés el estudio de la integración de los metabolismos de los distintos tejidos especializados presentes en los organismos superiores.

Los estudios del metabolismo pudieron progresar rápidamente tras la introducción del uso de los isótopos radiactivos —en particular el C_{14}— en la investigación biológica. De esta forma, los conocimientos en este campo han avanzado paralelos a la mayor asequibilidad de compuestos marcados radiactivamente y a los progresos en la sensibilidad de los instrumentos detectores de radiactividad empleados.

Las bases moleculares de la herencia Las proteínas determinan la "vida" de la célula, ya que estas moléculas son las que definen su forma, organización y funciones. En consecuencia, la célula de-

EL CICLO ENERGETICO EN LA NATURALEZA



Los procesos metabólicos permiten a la célula la asimilación de los nutrientes. Los alimentos proporcionan no solamente la energía que la célula requiere para su funcionamiento, sino también los precursores moleculares imprescindibles para la síntesis de las macromoléculas características de cada especie celular. En definitiva, y como se indica en este esquema, la vida depende de la utilización de la energía emitida por el Sol. Esta energía es asimilada primeramente por las plantas, que la aprovechan para la síntesis de sus macromoléculas, junto con el CO_2 atmosférico, el H_2O y el nitrógeno del suelo. La materia vegetal sintetizada de esta forma puede ser utilizada como alimento por los animales o el hombre. En cada célula, o en los tejidos que éstas forman, operan simultáneamente dos tipos de procesos metabólicos: *catabolismo* y *anabolismo*. En la fase de anabolismo, los alimentos son degradados y oxidados, produciendo moléculas pequeñas, energía, CO_2 y otros productos de desecho. La fase anabólica consiste en la síntesis de macromoléculas a partir de las moléculas pequeñas (monosacáridos, aminoácidos, bases nitrogenadas, etc.) y de la energía que se produce en el transcurso del catabolismo. En la actualidad disponemos de una idea muy precisa de los procesos de degradación y de biosíntesis de los carbohidratos, lípidos y proteínas. En cada uno de estos casos, el proceso transcurre a través de una multitud de reacciones químicas sucesivas (se denominan *rutas metabólicas*), que permiten que la liberación y utilización de la energía almacenada en las macromoléculas se realicen de forma gradual. Cada una de las reacciones químicas individuales que componen una ruta metabólica está catalizada por un *enzima* específico.

be contener un cúmulo de información genética que incluya las instrucciones necesarias para conseguir la síntesis de sus proteínas específicas.

Ciertamente, desde 1953, año en que Watson y Crick postularon un modelo molecular del ácido desoxirribonucleico (ADN) se ha avanzado mucho en el conocimiento de los mecanismos de almacenamiento y transmisión de la información genética. El ADN se encuentra en el núcleo celular en forma de largos polímeros en cuya secuencia están codificadas las informaciones necesarias para la síntesis de cada proteína. Al fragmento de ADN que define la secuencia de una proteína se le denomina *gen*. En la duplicación celular, la molécula de ADN es copiada para dar lugar a una réplica exacta, de forma que cada una de las copias obtenidas puede ser transmitida a una célula hija. La utilización de la información genética requiere su transmisión desde el núcleo hasta los ribosomas, que son las partículas subcelulares que llevan a cabo la síntesis de proteínas.

Las líneas básicas de los mecanismos moleculares que regulan la transmisión de la herencia pudieron ser establecidos en un principio mediante el estudio de organismos sencillos, tales como los virus y las bacterias. Actualmente se está avanzando en el esclarecimiento de estos procesos en los organismos superiores. A rasgos generales, puede decirse que dichos mecanismos son muy similares en todos los organismos, aunque presentan importantes peculiaridades diferenciales. Este hecho refuerza de nuevo el principio de la unidad de la vida que ya hemos mencionado anteriormente.

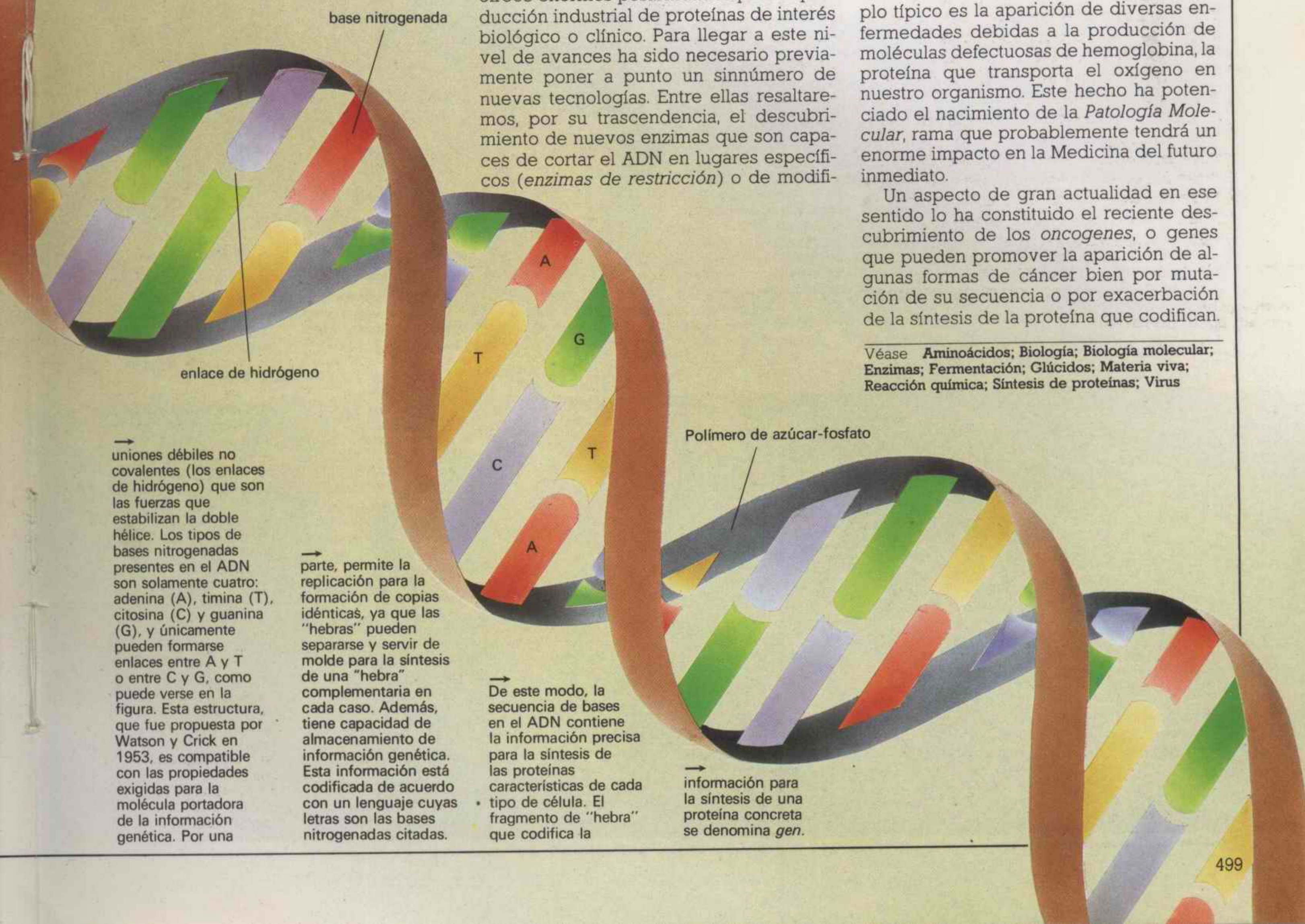
Del estudio de esta área de la Bioquímica, es decir, el referente a la transmisión de la herencia, se ocupan la Biología Molecular y la Genética Molecular, disciplinas de gran pujanza en nuestros días. En los últimos años se ha cumplido una vieja aspiración de los genetistas al haberse logrado la manipulación de genes individualizados en el tubo de ensayo. Con ello se ha dado lugar al nacimiento de la *Ingeniería genética* o *Tecnología del ADN-recombinante*. Se han desarrollado ya los procedimientos que permiten aislar un gen concreto a partir del ADN de un organismo dado para posteriormente introducirlo en un organismo distinto (por ejemplo, una bacteria) y hacer que éste sintetice en grandes cantidades la proteína codificada por el gen extraño, lo que ofrece enormes posibilidades para la producción industrial de proteínas de interés biológico o clínico. Para llegar a este nivel de avances ha sido necesario previamente poner a punto un sinnúmero de nuevas tecnologías. Entre ellas resaltaremos, por su trascendencia, el descubrimiento de nuevos enzimas que son capaces de cortar el ADN en lugares específicos (*enzimas de restricción*) o de modificar en múltiples formas los ácidos nucleicos. Además, se han producido enormes progresos en el conocimiento de la química de los ácidos nucleicos, en su síntesis química y en su secuenciación. Hoy existen, comercializados en el mercado, aparatos muy sofisticados que son capaces de sintetizar fragmentos de ADN con una secuencia predeterminada.

La enfermedad a nivel molecular Los progresos en la investigación bioquímica han ido desentrañando también los aspectos moleculares de la enfermedad. Históricamente, los primeros éxitos en este sentido consistieron en la definición, en términos moleculares, del origen de enfermedades tales como las deficiencias vitamínicas y los trastornos hormonales. Por otro lado, la mejor comprensión de estos aspectos moleculares ha ido permitiendo el diseño cada vez más racional de medicamentos efectivos para combatir gran variedad de dolencias.

Más recientemente, por fin, los exhaustivos conocimientos genéticos y metabólicos adquiridos han puesto de manifiesto un número enorme de anormalidades que se transmiten hereditariamente. En estos casos, la alteración en un gen produce una proteína defectuosa que es la responsable directa del trastorno metabólico. Un ejemplo típico es la aparición de diversas enfermedades debidas a la producción de moléculas defectuosas de hemoglobina, la proteína que transporta el oxígeno en nuestro organismo. Este hecho ha potenciado el nacimiento de la *Patología Molecular*, rama que probablemente tendrá un enorme impacto en la Medicina del futuro inmediato.

Un aspecto de gran actualidad en ese sentido lo ha constituido el reciente descubrimiento de los *oncogenes*, o genes que pueden promover la aparición de algunas formas de cáncer bien por mutación de su secuencia o por exacerbación de la síntesis de la proteína que codifican.

Véase **Aminoácidos; Biología; Biología molecular; Enzimas; Fermentación; Glúcidos; Materia viva; Reacción química; Síntesis de proteínas; Virus**



→ uniones débiles no covalentes (los enlaces de hidrógeno) que son las fuerzas que estabilizan la doble hélice. Los tipos de bases nitrogenadas presentes en el ADN son solamente cuatro: adenina (A), timina (T), citosina (C) y guanina (G), y únicamente pueden formarse enlaces entre A y T o entre C y G, como puede verse en la figura. Esta estructura, que fue propuesta por Watson y Crick en 1953, es compatible con las propiedades exigidas para la molécula portadora de la información genética. Por una

→ parte, permite la replicación para la formación de copias idénticas, ya que las "hebras" pueden separarse y servir de molde para la síntesis de una "hebra" complementaria en cada caso. Además, tiene capacidad de almacenamiento de información genética. Esta información está codificada de acuerdo con un lenguaje cuyas letras son las bases nitrogenadas citadas.

→ De este modo, la secuencia de bases en el ADN contiene la información precisa para la síntesis de las proteínas características de cada tipo de célula. El fragmento de "hebra" que codifica la

→ información para la síntesis de una proteína concreta se denomina *gen*.

Biorritmo

El caso del púgil Mohammed Alí demuestra cuán válida es la teoría de los biorritmos. De hecho, perdió el título de campeón del mundo de los pesos pesados no tanto por no estar a la altura del título, sino más bien porque el día del combate se encontraba en una fase difícil de su ciclo biorrítmico, según parece haberse demostrado.

La teoría de los biorritmos Al comienzo de este siglo, Wilhelm Fliess, que colaboró por algún tiempo con Sigmund Freud, formuló la teoría según la cual el hombre está sujeto a un ciclo *físico* de 23 días, en los que está dotado de particular energía y fuerza física, y a otro de 28 días, que podríamos llamar *emocional*, en el que prevalecen sobre todo la intuición y la sensibilidad. Fliess ha llamado *masculino* al primer ciclo, y al segundo, *femenino*, si bien ambos están presentes en la vida de todo individuo. Discípulos de Fliess añadieron después un tercer ciclo, de *actividad mental*, de 33 días.

Estos ciclos se inician todos simultáneamente en el momento del nacimiento y continúan sin interrupción hasta la muerte. Según la teoría biorrítmica, vivimos el momento de mayor eficiencia en los primeros días de cada ciclo, mientras que hacia el final del ciclo es más probable tener crisis o cometer errores. Estos son, precisamente, los días peligrosos o "días oscuros", puesto que se pasa de una fase a otra. Doblemente peligroso es el día en que se está simultáneamente en mitad de dos ciclos, y el que se encuentra en medio de los tres es considerado una "maldición de los dioses". Este suceso —aseguran quienes mantienen la teoría— se verifica, afortunadamente, sólo una vez al año.

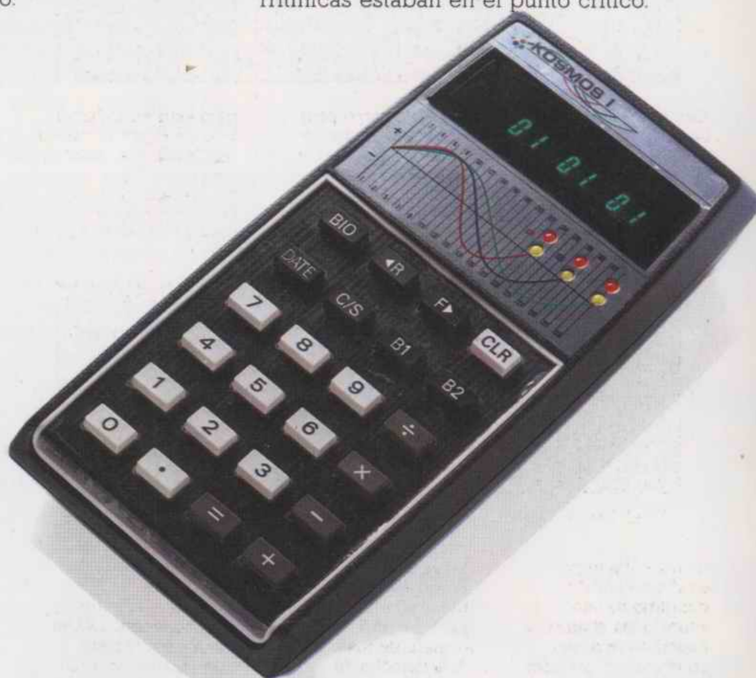
La moda de los biorritmos Quien cree en los biorritmos está convencido de que, gracias a ellos, sabrá con antelación si las cosas funcionarán o no, pudiendo así planificar su existencia. Difícilmente emprenderá viajes en los períodos de riesgo, e intentará siempre remitir las decisiones importantes al final de éstos.

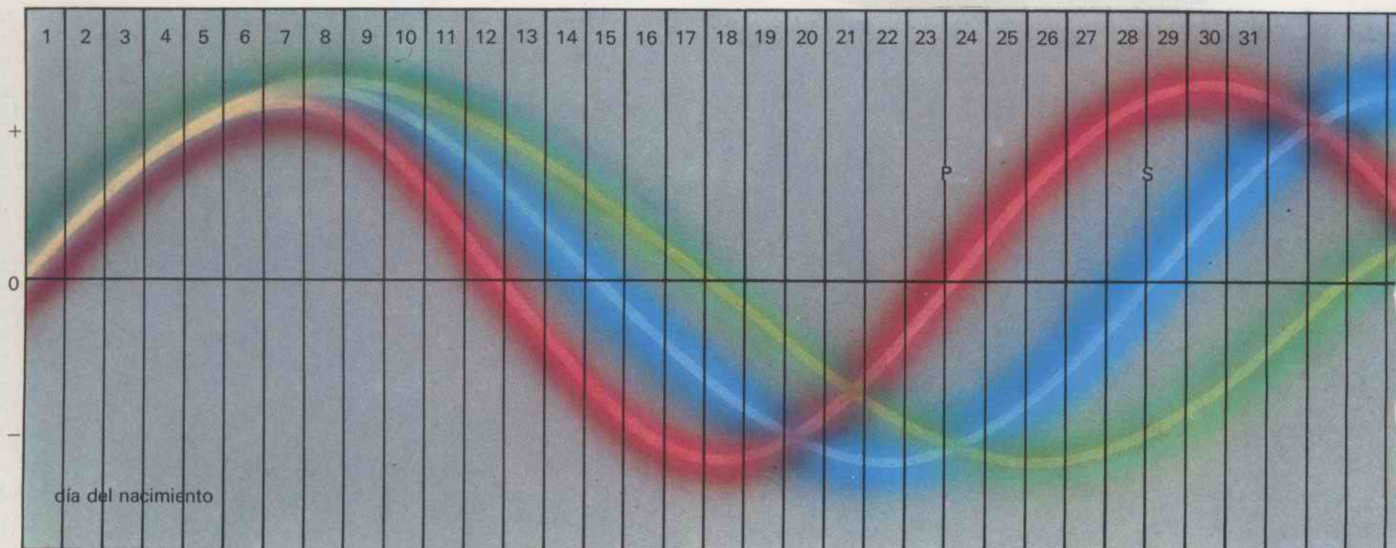
Contar los días que componen los ciclos es bastante incómodo: los diagramas biorrítmicos y las calculadoras se han convertido, por tanto, en los instrumentos fundamentales para quien planifica su propia vida basándose en estos parámetros. El número de estas personas —lo testimonian las firmas dedicadas a los biorritmos, las publicaciones especializadas y los libros que tratan este tema— es importante en ciertos países. Una empresa de Denver exime del trabajo a todos los empleados que se encuentran en los días de triple riesgo; una compañía petrolífera de Texas y una entre las mayores empresas constructoras de ferrocarriles del Japón se preocupan de advertir a los empleados cuándo corren ese riesgo.

La teoría a prueba Numerosos investigadores han puesto a punto *tests* basados en la teoría biorrítmica, pero ninguno resulta fiable. Un estudio estadístico dirigido por la universidad John Hopkins ha establecido que los accidentes ocurren en los días peligrosos, según un porcentaje que oscila entre el 40% y el 80%. Sin embargo, sólo el 20% de los accidentes automovilísticos sucedidos por culpa de los conductores ha tenido lugar en los días más peligrosos.

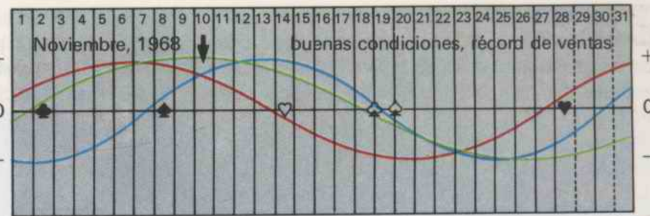
Una prueba decididamente en contra de la teoría biorrítmica está constituida por el caso de Reggie Jackson, jugador de béisbol. Este jugador superó todos los récords durante una serie de partidos, bateando cinco veces fuera del campo, y tres de ellas en el último partido, lo que llevó a su equipo a una extraordinaria victoria, a pesar de que todas sus fases biorrítmicas estaban en el punto crítico.

Debajo, diagrama de cómo se presenta el principio de la investigación del biorritmo de cada individuo. Se supone que, en el nacimiento, las ondas de los tres ritmos, el físico, el emotivo y el intelectivo, parten de cero como tres sinusoides con sus respectivos períodos de 23, 28 y 33 días. Después, a lo largo del tiempo, los tres ritmos se alternan, subiendo y bajando con la periodicidad indicada. Es la combinación, en cada fecha, de estas sinusoides la que permitiría determinar el biorritmo de la persona. A la derecha, calculadora de bolsillo empleada para su determinación.

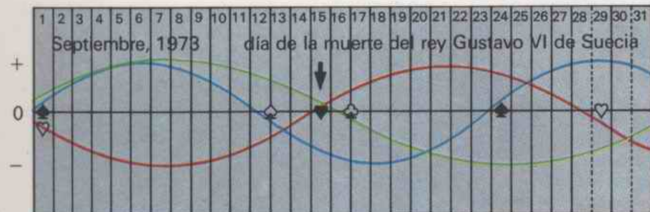






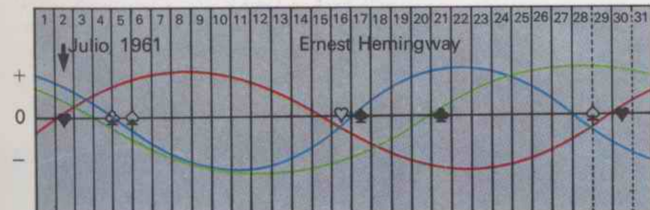


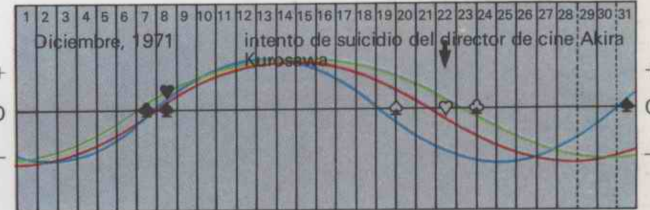
La validez de principio del análisis biorrítmico mediante la suma de sinusoides que se alternan es verificada a menudo, examinando hechos y características comportamentales de personas mantenidas bajo control. Sobre estas líneas, ejemplos de comportamiento de una misma persona y situación del biorritmo en los días en que han acaecido los sucesos. En este caso se trata de una vendedora de productos cosméticos. En el día indicado con la flecha, a la izquierda, la persona ha tenido una disputa con una de sus mejores clientes. En el diagrama, los ritmos están indicados según el código: *picas* = biorritmo físico; *corazones* = biorritmo emocional; *tréboles* = biorritmo intelectivo. En el diagrama de la derecha, en cambio, la misma persona ha obtenido una prima por récord de ventas en una fase favorable de su biorritmo.





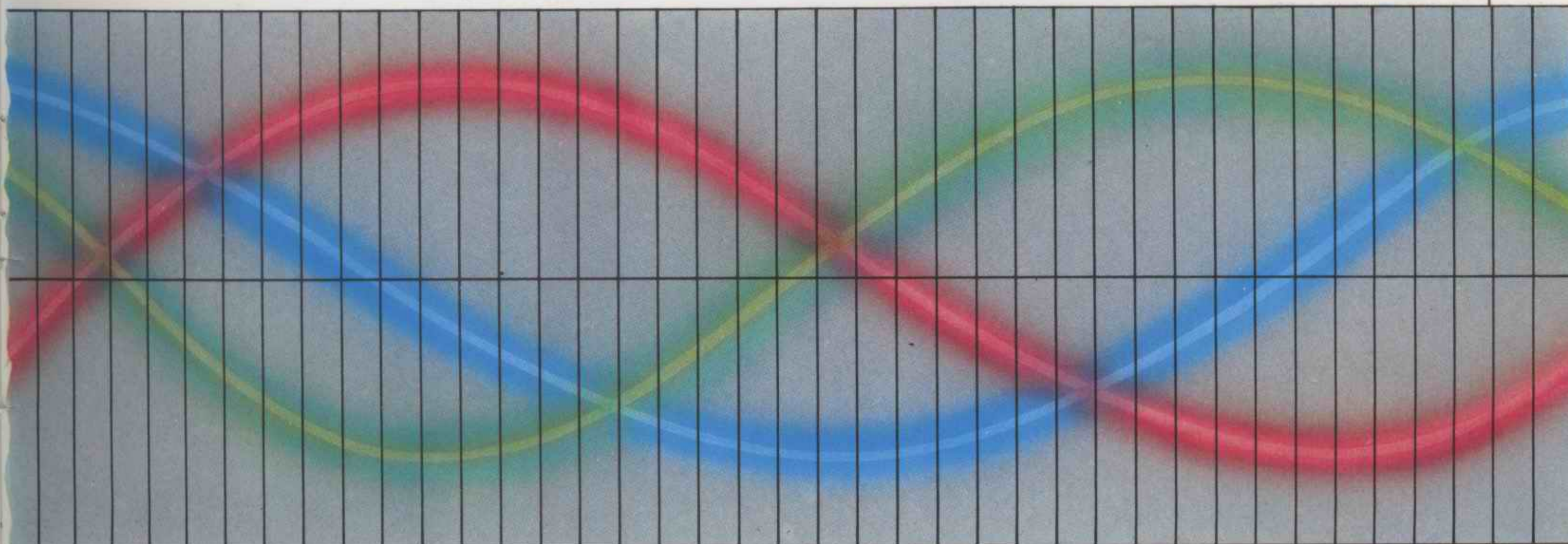
Con el mismo código de símbolos de los diagramas superiores, situación del biorritmo de personas que han llegado a encontrarse en una fase tan negativa como para morir. No es que se pretenda que la muerte haya sido causada directamente por la indicada situación del biorritmo, pero esto pudo haber influido hasta tal punto que la muerte, siendo inminente, ha encontrado el terreno favorable para su nefasto acaecer. A la izquierda, condiciones que se ha verificado correspondieron al día de la muerte del rey Gustavo VI de Suecia y, a la derecha, del famoso violonchelista Pablo Casals. Sobre la base de tales verificaciones, hoy muchas personas que se saben en condiciones de peligro recurren al análisis del biorritmo para conocer en qué días pueden darse las situaciones más peligrosas y adaptar su conducta.





♠♤ físico ♥♡ emocional ♣♧ intelectivo

En este último par de diagramas del biorritmo se ven situaciones altamente negativas que han conducido al suicidio. A la izquierda, la situación del escritor Ernest Hemingway, que se mató el 2 de julio de 1961 de un disparo de fusil. A la derecha, la situación que el 21 de diciembre de 1971 llevó al intento de suicidio al director de cine japonés Akira Kurosawa. Nótese que quienes aceptan la teoría del biorritmo no afirman que en situaciones idénticas la persona deba necesariamente suicidarse: en cualquier momento, muchísimas personas tendrán el mismo biorritmo que esos suicidas y, sin embargo, no se suicidarán. Pero la coincidencia de circunstancias negativas es agravada por el biorritmo. En cualquier caso, se trata de una teoría cuyas pruebas no son concluyentes en absoluto.



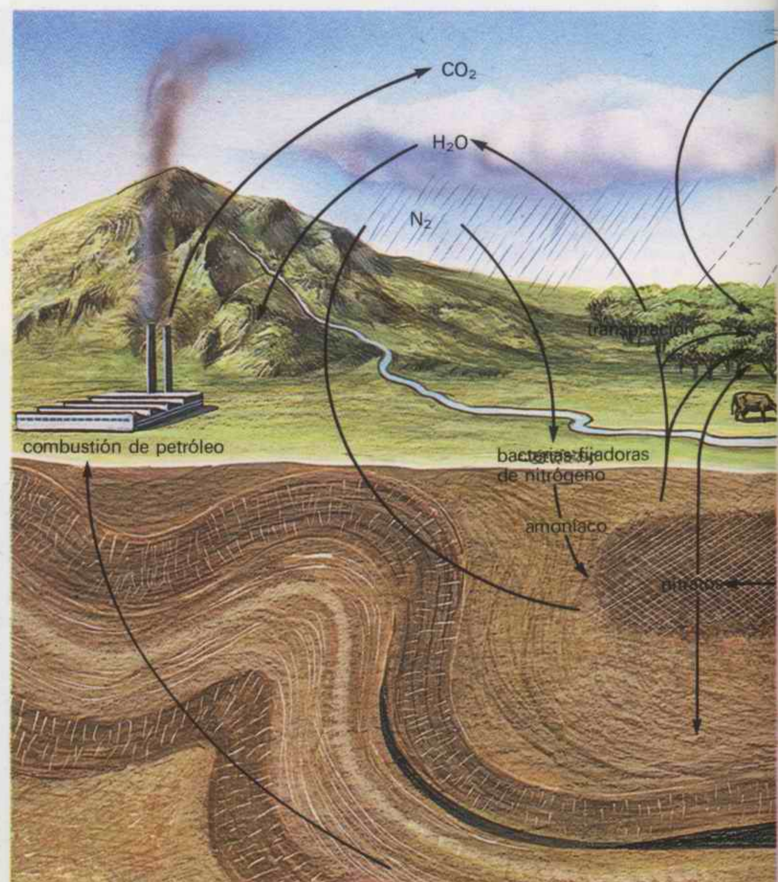
Biosfera

Si se observa atentamente un pequeño embalse con aguas estancadas, se podrá ver en él y en su entorno una sorprendente variedad de formas de vida; algunas son visibles a simple vista, como algas, peces, ranas, caracoles y numerosos insectos; pero hay otras que sólo se pueden observar con lupa o microscopio, como algas microscópicas, bacterias, protozoos y pequeños invertebrados. Entre todas esas formas de vida coexistentes, que forman lo que se llama una *biocenosis*, se establece una complicada red de relaciones tróficas que van desde las de depredador-presa a las de parasitismo, simbiosis, comensalismo y mutualismo. Además, hay toda una serie de interacciones de otro tipo, como las producidas por la competencia. Mientras el ambiente físico, llamado *biotopo*, se conserve relativamente invariable, es decir, mientras se mantenga el agua del estanque y no experimenten cambios sensibles las condiciones climáticas, las poblaciones del mismo seguirán aumentando y disminuyendo según ritmos regulares, conservando en el transcurso del tiempo su composición media. El ambiente físico del estanque y la comunidad viviente que lo habita constituyen un ejemplo de *ecosistema*. Un ecosistema es el conjunto de suelo, agua, microorganismos, plantas y animales implicados en un proceso dinámico e incesante de interacción en un lugar determinado de características definibles —un lago, un prado, un río, un bosque, etc.—. Como se puede deducir fácilmente, cada ecosistema es elemento de otro más amplio hasta llegar finalmente al ecosistema formado por toda la cubierta de la Tierra: la *biosfera*.

La biosfera, o "esfera de vida", es la parte más externa de la corteza terrestre, donde se desarrolla la vida y que podría compararse a una delgada funda casi continua que, partiendo de la superficie de la Tie-

ZONA PARABIOSFERICA
ZONA EOLICA
límite de los animales terrestres
límite de las plantas superiores
límite de las poblaciones humanas
límite de los cultivos
máxima altitud a la que se encuentran peces
ZONA ALPINA Y DE PIE DE MONTE
ZONA EUFOTICA
ZONA DISFOTICA
metros: 9.000, 8.000, 7.000, 6.000, 5.000, 4.000, 3.000, 2.000, 1.000, 0, 1.000, 2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000, 7.000, 8.000, 9.000, 10.000

El conjunto de las zonas de la Tierra donde es posible alguna forma de vida constituye lo que se llama *biosfera*. La última posibilidad de vida de las plantas superiores y de los animales terrestres rebasa por muy poco los 6.000 metros de altitud (para el hombre, supera algo los 5.000 metros). La zona eufótica de las aguas puede tener una profundidad de pocos centímetros en los ríos muy revueltos, y llegar a 200 metros en las zonas marinas más tranquilas y transparentes. El oxígeno desarrolla una función importante en la evolución y en el actual funcionamiento de la biosfera. Es absorbido por los organismos por medio de la respiración y usado en la combustión de los alimentos, que produce la energía necesaria para sostener las actividades vitales de esos mismos organismos (esquema inferior).



rra, se extiende hacia abajo, hasta el fondo de los abismos marinos, y hacia arriba, en la atmósfera, hasta donde vuelan los pájaros y donde el viento transporta las esporas y los hongos microscópicos. Hacia abajo, llegan a encontrarse formas de vida en los sedimentos de las cuencas oceánicas a 10 km de profundidad y en el fondo de simas con profundidades máximas de unos 12 km. Hacia arriba, la presencia de vegetación alcanza alturas de hasta 6 km sobre la latitud media en los relieves montañosos, y ciertos animales pueden llegar a cotas algo superiores. En conjunto, podemos considerar la biosfera como una película que recubre la superficie de la Tierra, con un espesor no superior a los 7 km sobre los continentes y a los 10 km sobre los océanos. Esta fina capa de agua, aire y tierra representa el lugar en que la materia viviente, en el transcurso de más de tres mil millones de años de evolución, ha creado su compleja red de interacciones en nuestro planeta, organizándose poco a poco en formas cada vez más especializadas, y equipadas, en su conjunto, para controlar el ambiente físico y garantizarse así las mejores condiciones de supervivencia y de expansión.

Los organismos que constituyen la biosfera se dividen en dos grandes grupos: los *productores* y los *consumidores*. Entre los primeros están incluidas las plantas, las algas y algunas bacterias que, gracias a la capacidad de desarrollar la fotosíntesis, son capaces de aprovechar la energía del Sol para elaborar su propio alimento y los materiales de sus tejidos a partir de compuestos inorgánicos simples presentes en la superficie terrestre: dióxido de carbono, agua, nitratos, fosfatos, etc. De esta forma vienen a sintetizar las cuatro categorías fundamentales de compuestos orgánicos indispensables para la edificación, el crecimiento y el mantenimiento de las estructuras vivientes: *ácidos nucleicos*, *glúcidos*, *proteínas* y *lípidos* (o grasas). Al mismo tiempo se produce oxígeno, que se transforma en ozono en la estratosfera, creando un escudo químico protector contra los rayos ultravioleta que provienen del Sol.

El segundo grupo, los consumidores, comprende todos los animales (insectos, moluscos, peces, pájaros, reptiles, mamíferos), que no pueden fabricarse por sí mismos sus alimentos. Los herbívoros comen directamente organismos vegetales, mientras los carnívoros se nutren de los herbívoros.

Los animales desarrollan, entre otras, la tarea de poner rápidamente en circulación en la biosfera el material orgánico elaborado por las plantas. Una categoría particular de consumidores es la de los *descomponedores*, fundamentalmente microorganismos presentes en el suelo y en las aguas, que se nutren de los restos de plantas y animales. Los organismos descomponedores, tras ingerirlos, los vuelven a transformar en elementos simples (agua, dióxido de carbono, fosfatos y nitratos), que quedan otra vez disponibles para su utilización por parte de los productores.

A través de esa «acción concertada» entre productores, consumidores y descomponedores, la circulación e intercambio de componentes químicos a través de la biosfera puede desarrollarse de la manera más sutil y eficaz. De este modo, la biosfera ejerce un poderoso control sobre muchos aspectos y fenómenos relacionados con la superficie terrestre, como, por ejemplo, la composición de la atmósfera, la cantidad de evaporación del agua y, por lo tanto, el clima, el flujo de las aguas, la erosión geológica, la naturaleza del suelo, la fisonomía del paisaje, etcétera.

La actividad humana, en el transcurso de este siglo y sobre todo de los últimos decenios, ha introducido factores de alteración en los ciclos vitales que gobiernan la biosfera, al verter en el ambiente grandes cantidades de sustancias contaminantes. Sus consecuencias han sido tan graves que la ciencia y la opinión pública se han movilizado, por un lado, para profundizar en los conocimientos sobre el ambiente natural, y por otro, para eliminar los efectos perjudiciales unidos a la actividad humana. Como resultado de este interés, y de estudios que se han realizado, se abre camino una actitud que ve en la biosfera un aliado que debe conocerse y preservarse, y no un lugar sobre el que el hombre puede actuar de forma incontrolada e irracional. El hombre es sólo un elemento más de la biosfera, y su existencia está ligada a la conservación de la misma.

Véase **Carbono; Ecología; Fotosíntesis; Nitrógeno; Oxígeno; Ozono**



Bobina eléctrica

La corriente eléctrica se produce por el movimiento de pequeñas partículas con carga negativa, llamadas *electrones*. Cuando entre los dos bornes de una batería se coloca un hilo, llamado *conductor*, que permite el flujo libre de los electrones, éstos son "empujados" de un borne al otro. La fuerza de este empuje se llama *fuerza electromotriz*, y se mide en *voltios*. Cuando los electrones circulan a lo largo de un hilo, la corriente produce un campo magnético alrededor de éste. Por *campo* se entiende aquella zona en la que se manifiestan las fuerzas.

De la misma forma que en los campos eléctricos se ejercen fuerzas sobre los objetos cargados eléctricamente, en los campos magnéticos se influye sobre los cuerpos magnetizados. Pero mientras que sobre las cargas eléctricas se ejercen fuerzas de atracción o repulsión cuando se encuentran en un campo eléctrico, en el caso de los cuerpos magnéticos, al estar formados por las dos cargas magnéticas de signo opuesto, se mueven hasta quedar alineados en el campo magnético. Si se ponen limaduras de hierro sobre un trozo de papel y debajo de éste se coloca una barra magnética, las limaduras forman estructuras alineadas en trayectorias semicirculares que van de un extremo a otro del imán. Estos extremos se llaman *polos* del imán: uno de ellos se llama *polo norte*, y el otro, *polo sur*. Las trayectorias trazadas por las limaduras indican las *líneas de fuerza* del campo magnético.

Un efecto similar se puede obtener colocando, perpendicular al papel, un hilo por el que circule una corriente. En este caso se tendrá una estructura distinta: las limaduras se situarán en círculos concéntricos alrededor del hilo. Si los electrones circulan por el hilo hacia arriba, el polo norte de cada limadura se encontrará orientado en el sentido de las agujas del reloj, mientras que el polo sur estará orientado en sentido "contrario". Esto equivale a decir que si se sujeta el hilo con la mano izquierda de forma que el pulgar extendido indique el sentido de los electrones en movimiento, los otros cuatro dedos indican el sentido del polo norte del campo. Esta se define como *regla de la mano izquierda de los conductores*. Cuanto más cerca se esté del hilo, tanto más intenso será el campo, mientras que éste se debilitará al aumentar la distancia. Es importante recordar que el campo magnético producido por el hilo, al contrario que el del imán, es variable, dependiendo totalmente del flujo de corriente que circula por su interior: si se corta la corriente y se mueve el papel, el dibujo desaparece, y vuelve a aparecer sólo cuando se restablece la corriente. Si ahora se arrolla el hilo en espiral, se tiene una bobina simple.

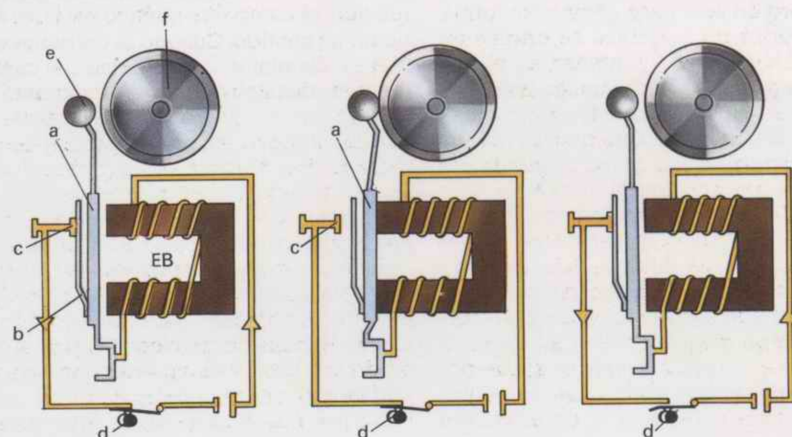
El flujo de la corriente por el interior de un hilo en espiral produce un campo mag- →

campo magnético de un hilo recto

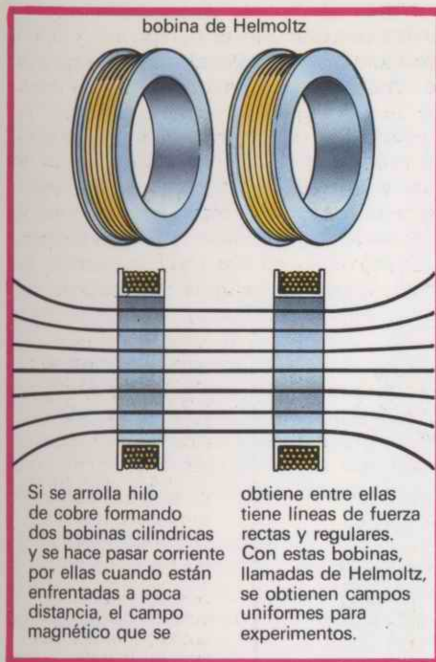
campo magnético de un hilo arrollado en espiral

electroimán con núcleo de hierro

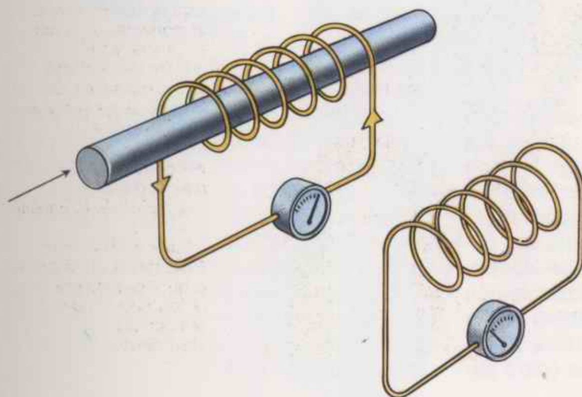
Después de que el físico Oersted descubriera que alrededor de un hilo que conduce corriente → existe un campo magnético (capaz de orientar la aguja de una brújula), se pudo trazar un esquema alrededor de un hilo como el mostrado arriba a la izquierda. En él, sobre cada superficie de forma cilíndrica, con el hilo por eje, el campo magnético es constante y es el indicado por las flechas; a medida que aumenta la distancia, el campo se debilita. Si el hilo se arrolla en espiral, como se ve a la izquierda, el campo se orienta en el interior de la misma forma y resulta más intenso al ser la suma de los efectos de muchas espiras. Se puede reforzar todavía más el efecto magnético de la bobina colocando en el interior de las espiras (solenoide) un cilindro o núcleo de hierro dulce, con lo que se obtiene un electroimán.



Aplicación de un electroimán a un timbre. El electroimán de bobina, EB, tiene enfrente de él una masa magnética (a); en posición de reposo, el contacto (c) está cerrado a través de la laminilla elástica (b). Si en estas condiciones se cierra el interruptor (d), pasa corriente por la bobina y el imán atrae la lámina (a); el martillo (e) golpea la campanilla (f), que emite el sonido. Pero, como se ve en el centro, el contacto (c) se abre y el martillo se puede volver a alejar. Al ocurrir esto el circuito se vuelve a cerrar nuevamente en (c), la corriente fluye de nuevo por la bobina y el martillo golpea nuevamente la campanilla. De esta forma el timbre suena mientras el interruptor (d) está cerrado. La frecuencia del golpeo depende de la inercia que tenga la masa del martillo, de la fuerza del muelle que devuelve el martillo a su posición y, en menor medida, de la corriente que atraviesa la bobina.



Si se arrolla hilo de cobre formando dos bobinas cilíndricas y se hace pasar corriente por ellas cuando están enfrentadas a poca distancia, el campo magnético que se obtiene entre ellas tiene líneas de fuerza rectas y regulares. Con estas bobinas, llamadas de Helmoltz, se obtienen campos uniformes para experimentos.



En la bobina de la izquierda se ha introducido rápidamente un imán en forma de barra. Durante la entrada en la bobina, ha circulado una corriente medida por el instrumento intercalado en la parte inferior del circuito. Una segunda bobina (a la derecha) no indica ningún paso de corriente; pero si se la sitúa cerca de otra por la que circula corriente variable, ésta genera en la primera bobina una corriente llamada *inducida*.

nético de la misma manera que en el hilo recto, pero en este caso cambia su forma. En el interior de la bobina se origina un campo magnético muy intenso, en el que las líneas de fuerza están mucho más concentradas, mientras que el campo en el exterior es más débil. Este tipo de bobina es muy similar a una barra imantada común, teniendo igualmente un polo norte y otro sur. Si se toma la bobina con la mano izquierda, de forma que los dedos doblados señalen el sentido del flujo de electrones a lo largo de las espiras, el pulgar extendido indica la situación del polo norte del campo magnético. Esta se denomina *regla de la mano izquierda de las bobinas*. La única diferencia entre una bobina y un imán consiste en que el campo magnético de la bobina está generado por la electricidad, de forma que dicho campo desaparece cuando se interrumpe la corriente eléctrica. Por esta razón se la denomina *electroimán*. La fuerza de su campo magnético es proporcional a la intensidad de la corriente, al número de las espiras, a la distancia entre ellas y al material que se encuentra en el interior (por ejemplo, aire o hierro).

El electroimán es uno de los inventos eléctricos más usados. Una de sus aplicaciones es en los timbres para puertas, en los que el electroimán se construye de forma que atraiga un brazo móvil de hierro, unido a un pequeño martillo que se mantiene a poca distancia de la campanilla por la acción de un muelle. Cuando se aprieta el pulsador, circula la corriente, el electroimán atrae el hierro hacia él y el martillo golpea la campanilla.

Corriente alterna e inductancia Si la corriente circula regularmente en un sentido, el campo magnético que se crea también es estable y tiene siempre la misma orientación; es decir, el polo norte y el sur, en cualquier punto dado del campo, no cambian. Este tipo de corriente se conoce como *corriente continua*. Cuando la corriente circula primero en un sentido, después se invierte y circula en el otro, o bien cuando la corriente no es estable y varía su intensidad, se llama *corriente alterna*; como es lógico, esta alternancia se traduce en un peculiar campo magnético.

Mientras la corriente circula en una dirección, el campo magnético está orientado en un sentido. Cuando la corriente empieza a disminuir, la intensidad del campo también disminuye, hasta el momento en que no hay ninguna corriente, instante en el que tampoco existe campo magnético. Cuando los electrones empiezan lentamente a moverse en el otro sentido, el campo magnético se produce de manera análoga, pero con sus polos invertidos.

Este campo magnético variable se cruza a veces con otros hilos, de la misma forma que, por ejemplo, las ondas concéntricas en expansión, provocadas por la caída de una piedra en un estanque tranquilo, pueden chocar con ramas que salen del agua. Una propiedad de este campo magnético variable consiste en el hecho de que, cuando se encuentra con otro hilo, pone en movimiento los electrones de su interior y por tanto induce una corriente. Este fenómeno se llama *inducción*.

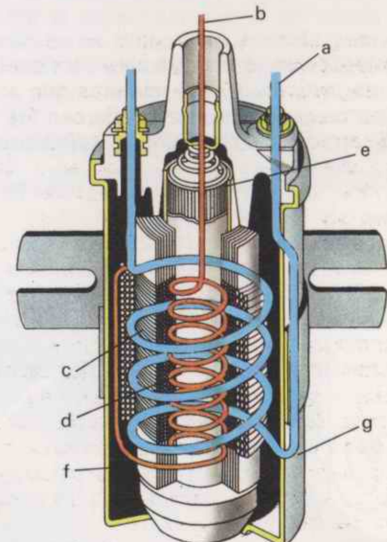
Las líneas de fuerza en expansión y en contracción producidas en una bobina por una corriente alterna pueden crear una corriente similar en otras bobinas cercanas: en ello se basa el *transformador*.

En un transformador, la corriente alterna de una bobina, el devanado *primario*, se utiliza para inducir corriente en una bobina cercana, o *secundario*. Si el número de espiras del devanado secundario es menor que el del primario, la corriente inducida puede ser incluso mayor que la original (a costa de una disminución de la tensión entregada por el secundario).

En una bobina, los efectos magnéticos provocados por cada espira de hilo se manifiestan también en el resto de los hilos de la misma bobina. Los efectos magnéticos de los electrones que circulan por una bobina pueden por tanto influir en esa misma corriente, bien haciéndola más fuerte o bien más débil. Resulta entonces que, si la corriente de una bobina está disminuyendo, la corriente inducida por el campo magnético en disminución circula en la misma dirección que la original, intentando mantenerla. Si, por el contrario, la corriente está aumentando, el campo magnético en aumento inducirá una corriente que circula en dirección contraria a la original. Este fenómeno (un tipo de autoinducción) se conoce como *inductancia*. La inductancia es la tendencia de una bobina de hilo a oponerse a un cambio de corriente. Una bobina arrollada muy densamente tendrá una fuerte inductancia y retrasará bastante cualquier cambio brusco de corriente, mientras que una bobina pequeña admitirá mejor los cambios bruscos de corriente.

Por *inductor* se entiende una bobina construida a propósito para aprovechar las ventajas de sus propiedades. Los inductores se utilizan como parte de los filtros de la radio y de otros sistemas de comunicación, debido a sus propiedades eléctricas.

Véase **Electricidad; Electromagnetismo**



Arriba se puede ver el esquema de una bobina de inducción, o sea, el generador de alta tensión para obtener la chispa en bujías de coche: (a) conductor primario; (b) conductor de la corriente inducida; (c) devanado primario y (d) secundario con aislamiento de papel; (e) núcleo de hierro; (f) aislante de betún entre las dos bobinas y hacia masa; (g) cubierta metálica de protección.

Bolígrafo

Para escribir o señalar, el hombre ha venido usando instrumentos impregnados en diversos tipos de fluido, desde que se utilizara la técnica del entintado con negro de humo y aceite allá por el tercer milenio antes de Cristo. En la antigua China se usaron plumillas ya antes del año 1000 a. de C.; las plumas de oca se emplearon en Europa del siglo VI al XIX; plumas con plumillas metálicas fabricadas a máquina tuvieron abundante difusión durante el siglo XIX. Hacia 1884 se emplearon plumas estilográficas. Durante el siglo XX se ha asistido a la creciente popularidad del bolígrafo.

Principio de funcionamiento El principio de funcionamiento del bolígrafo está basado en una esferita de acero rotante que distribuye tinta, procedente de una carga o depósito, sobre el papel. Los bolígrafos están proyectados para utilizar una tinta de secado rápido, que no "babea" ni mancha, que comienza a fluir instantáneamente cuando se empieza a escribir y que puede estar contenida en el bolígrafo durante largo tiempo sin perder sus características.

Estructura El bolígrafo está formado de tres partes: la envoltura, el depósito de carga y la punta. La *envoltura* suele estar realizada con metal o plástico, y en su interior hay un depósito de carga —relleno de tinta— constituido bien por material metálico, bien por material plástico. Un extremo del depósito, o recarga, está abierto, mientras que el otro está comunicado con la punta que escribe. A veces el tubito de recarga está cerrado con un tapón de grasa, que sigue a la tinta en su movimiento hacia abajo, de tal modo que no puede salirse. La *punta* está constituida por una esferita de acero, colocada en una envoltura, de la que menos de la mitad asoma al exterior para entrar en contacto con la superficie sobre la que escribe. La esferita gira libremente, de tal modo que su parte superior, bañada en la tinta de la carga, puede correr sobre el papel y dejar sobre él un trazo. Los bolígrafos de calidad tienen una esfera calibrada de modo muy preciso, que está colocada en el interior de la parte de sostén. Cuatro o seis acanaladuras en la envoltura de la esfera garantizan que la tinta se distribuya continuamente sobre la propia esfera. La tinta sale a través de la punta de la carga por acción de la gravedad; a continuación se vierte sobre la esfera según las necesidades gracias a una acción capilar natural. Esto explica el motivo por el que un bolígrafo no escribe cuando se intenta usarlo, por ejemplo, sobre un muro vertical.

Existen también bolígrafos constituidos por un mayor número de partes cuya finalidad fundamental es mejorar su estilo y la comodidad en el uso (como, por ejemplo, la retracción automática de la punta con el fin de protegerla), pero las únicas partes fundamentales son las tres mencionadas. Antes, los bolígrafos económicos se fabricaban con máquinas de producción en serie, mientras que la preparación de envolturas de gran calidad para bolígrafos de alto precio —realizadas en materiales nobles o maderas preciosas— se efectuaba a mano. En nuestros días, incluso los mejores acabados en bolígrafos de plata y oro se producen en serie, sujetándose —eso sí— a normas de calidad muy exigentes.

La tinta para los bolígrafos es de tipo gelatinoso denso, dotada de una textura viscosa. Debe ser lo suficientemente densa para adaptarse a la conformación de la recarga y para fluir a la velocidad apropiada. Los disolventes para la tinta son habitualmente glicoles o mezclas de alcoholes aromáticos y éteres polihidratos, con el añadido de agentes mojadores (para mejorar la capacidad de cobertura sobre el papel) y de ácidos orgánicos (para hacer más intenso el color). Las tintas para bolígrafos están proyectadas para fluir instantáneamente y secarse inmediatamente al contacto con el aire.

Historia La idea original del bolígrafo se remonta a 1888, cuando John Loud inventó un instrumento con la punta esférica a fin de escribir sobre la ruda superficie de las pieles. Van Vechten Riesberg patentó otra versión del dispositivo en 1916. El primer bolígrafo norteamericano fue realizado en Chicago por Milton Reynolds. Durante la II Guerra Mundial se avanzó mucho en los métodos de rectificación y medición, que luego se aplicaron a la fabricación de bolígrafos. En 1944, Lazlo Biro patentó una primera versión utilizable del bolígrafo (por ello, en muchas partes del mundo el bolígrafo es llamado *biro*).

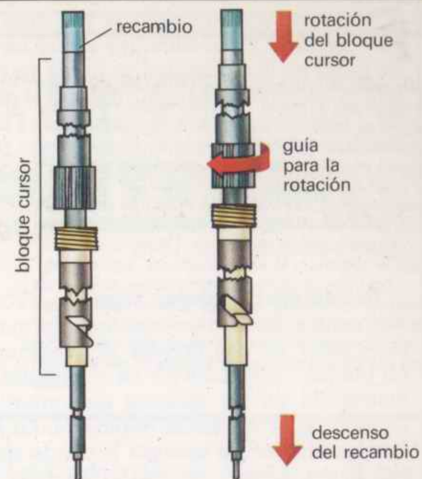
Las más recientes innovaciones en el campo de los bolígrafos comprenden: un especial control de la rugosidad de la esfera (para que pueda rodar sin resbalar incluso sobre superficies grasas), varias dimensiones de la esfera (para variar el espesor del trazo) y un alojamiento en acero inoxidable (para una duración mayor).

Los bolígrafos se hicieron populares a partir de los años cuarenta. Las posibilidades de ser producidos en serie y a bajo costo que tienen los bolígrafos respecto de otros útiles de escribir los han situado en el segundo puesto de popularidad, detrás solamente de los lápices; y algunas recientes e importantes innovaciones en el diseño de los bolígrafos les permitirán superar a los lápices. Uno de los avances más espectaculares es el de la escritura "borrable", lo que se consigue con tintas especiales y siempre que no hayan pasado demasiados días.

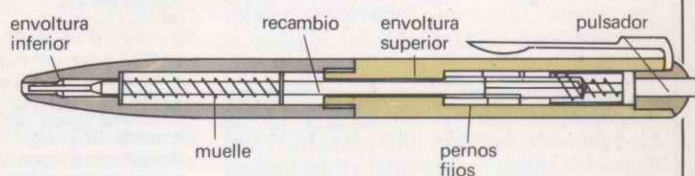


La invención del bolígrafo ha sido la más importante innovación en la técnica de la escritura a mano desde el empleo de la plumilla. En la vieja plumilla había que emplear tinta fluidísima, casi como el agua. En cambio, en el bolígrafo la estructura mecánica es simple y duradera; se puede usar tinta muy densa y disponer así de un medio muy cubriente.
En la página anterior se ve la estructura de uno de los modelos más simples, y debajo, sección de la punta, en la que se ve la esfera y el mecanismo por el cual recibe la tinta. En esta página, aquí a la derecha, el complejo mecanismo de retracción de un bolígrafo de lujo, que evita los riesgos de mancha cuando se usa como bolígrafo de bolsillo. Más a la derecha, de arriba a abajo, diversos mecanismos de extracción y retracción, en diferentes modelos de bolígrafos.

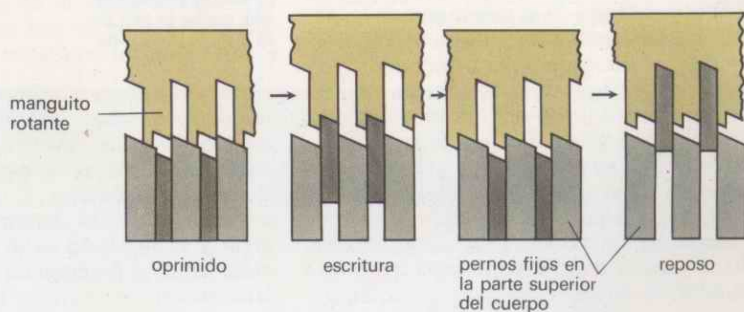
capuchón
recambio
"clip"
pinza elástica de metal
bloque cursor
guarnición de nylon
recambio
esfera



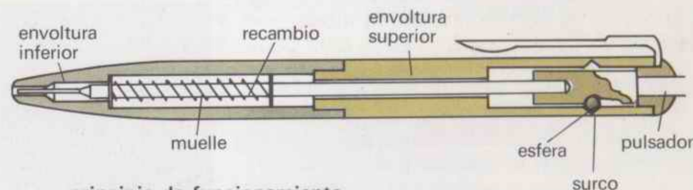
BOLIGRAFO CON PULSADOR DE ACCION ROTANTE



principio de funcionamiento



BOLIGRAFO CON PULSADOR DE ACCION SOBRE ESFERA



principio de funcionamiento



Bomba atómica

El inicio de la era atómica y el gran desarrollo y aplicaciones a que ha dado lugar en la actualidad se había ya gestado a comienzos de siglo, debido al grande y rápido avance que adquiría la Física del átomo. Pero la Humanidad tomó realmente conciencia de la nueva era a partir de las explosiones de las dos primeras bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki, en agosto de 1945.

La energía del núcleo atómico Todas las bombas liberan energía bajo forma de luz y calor. En una bomba "convencional" no nuclear, esta energía se encuentra almacenada en los enlaces que unen los átomos de la sustancia explosiva. En una bomba nuclear, la energía procede de la estructura interna de los núcleos de los átomos. El núcleo atómico está formado por un conjunto de partículas llamadas *protones* y *neutrones* (o *nucleones* indistintamente). El número total de los que forman el núcleo se llama *número másico* del átomo.

Los nucleones pueden existir independientemente, pero al constituirse un núcleo atómico pierden una pequeña cantidad de su masa, que se libera transformándose en energía, según la fórmula de Einstein $E=mc^2$ (la energía equivalente a una cierta masa es igual al producto de ésta por el cuadrado de la velocidad de la luz). Por así decirlo, los nucleones se ven obligados a "adelgazar" para encontrar sitio. Debido a esta pérdida de energía se mantienen fuertemente unidos en el núcleo (de ahí la gran estabilidad de la materia), necesitándose el aporte de al menos una energía igual para separarlos. La suma de la energía equivalente a todo el defecto másico de un núcleo atómico constituido es la que se denomina *energía de enlace* y, aunque, en valor absoluto, la correspondiente a un átomo sea una cantidad pequeña, en proporción a las pequeñas masas transformadas de las que proceden las energías de enlace, son, sin embargo, considerables.

La energía media de enlace por nucleón es menor para átomos de los elementos más ligeros que para otros de mayor peso atómico (mayor número másico), hasta el hierro, el cobalto y el níquel. Para elementos más pesados aún, vuelve a decrecer, de manera que dicha energía media de enlace para un elemento de gran masa atómica como el uranio es menor que la correspondiente a muchos elementos de pesos atómicos intermedios, inferiores al de él.

De estas diferencias se deducen dos procesos por los que se puede provocar la liberación de energía procedente de la transformación de una cierta proporción de masa nuclear. En efecto: tanto en el caso de la ruptura de un átomo de número másico elevado en otros dos de masas intermedias, como en el de la unión de dos átomos ligeros para formar otro de número másico superior, la energía de enlace por nucleón correspondiente al átomo o átomos resultantes del proceso es superior a la del átomo o átomos originales, obteniéndose, como consecuencia, la liberación de ese suplemento de energía procedente del mayor defecto másico ocurrido en el fenómeno. El primer proceso mencionado es el denominado *fisión nuclear* y el segundo es el de la *fusión nuclear*. Ambos fenómenos se utilizan en la fabricación de bombas atómicas, dando lugar a los dos tipos fundamentales que se conocen: la *bomba de fisión* y la *bom-*

cono de cola
aletas estabilizadoras del vuelo
entrada de aire
deflector aerodinámico
detonador barométrico
sensores barométricos
deflectores aerodinámicos
carga explosiva de aproximación
pantalla para los neutrones
pantalla de plomo
cabeza detonante
masa subcrítica de U-235
conjunto de control telemétrico
masa subcrítica de U-235

Little boy fue la primera bomba atómica empleada como arma ofensiva, a las 9,15 horas del 6 de agosto de 1945. La ciudad japonesa de Hiroshima quedó casi arrasada. Se puede observar en el corte la estructura que obliga a las dos masas de uranio-235 a componer la masa crítica, empujadas la una contra la otra por la energía producida mediante la explosión de una pequeña cantidad de explosivo convencional. Se observa arriba el detonador que provoca la explosión, accionado por la presión atmosférica: al alcanzar cierta altura sobre el objetivo, se llega a un determinado valor de la presión atmosférica para el que ha sido graduado el detonador. Abajo, la imagen de una explosión nuclear experimental en el atolón de Bikini.


Sipa/Grazia Neri

DEL "SOL" NUCLEAR AL "HONGO" ATOMICO



Fases sucesivas de una explosión nuclear, desde la formación inicial del "sol" hasta la elevación del clásico "hongo". De la bola de fuego se propaga una onda de choque a velocidad supersónica, que a los dos segundos se encuentra a más de un kilómetro del centro de la explosión. A los 11 segundos el viento originado por la explosión alcanza los 300 kilómetros por hora. En la tercera fase comienza a formarse el "hongo" cuyo "pedúnculo" se eleva hacia el cielo por el impulso de vientos ascendentes secundarios de tipo convectivo. Cuarta fase: la "sombrilla" se manifiesta en toda su pontencia; la nube atómica comienza a expandirse por la atmósfera (a menos de dos minutos de la explosión, supera los 10 km de altura).

ba de fusión termonuclear, en la que se aprovecha asimismo una explosión inicial de fisión para provocar la fusión.

Reacción en cadena El fenómeno de la fisión nuclear, descrito anteriormente, puede provocarse artificialmente bombardeando algunas sustancias de átomos pesados, como el uranio-235 y el plutonio-239, con neutrones. En este proceso, los núcleos de uranio o plutonio, después de absorber un neutrón, se fisionan dando lugar a dos núcleos atómicos más pequeños; pero, además, aparecen dos o más nuevos neutrones por cada fisión ocurrida, los cuales pueden producir, a su vez, otras fisiones en nuevos núcleos vecinos de uranio y plutonio si la concentración de los mismos es elevada, con la liberación de más neutrones que darán lugar a nuevas fisiones, y así sucesivamente, desarrollándose el proceso denominado de *reacción en cadena*, con la consiguiente liberación de energía.

La reacción en cadena puede iniciarse espontáneamente a partir de unas determinadas cantidades de material fisible, llamadas *masa crítica*, cuyo valor depende también de las condiciones geométricas y del medio circundante. Teniendo en cuenta, además, que en una pequeña cantidad de materia, unos gramos, por ejemplo, puede haber miles de trillones de átomos, la energía total liberada (suma de todas las aportaciones de todos los núcleos que han sufrido fisión) puede llegar a ser considerable. Por otra parte, los fragmentos originados en la ruptura de los átomos de uranio o plutonio, denominados *productos de fisión*, son radiactivos, con lo que la reacción en cadena va acompañada de la creación de una significativa cantidad de radiactividad.

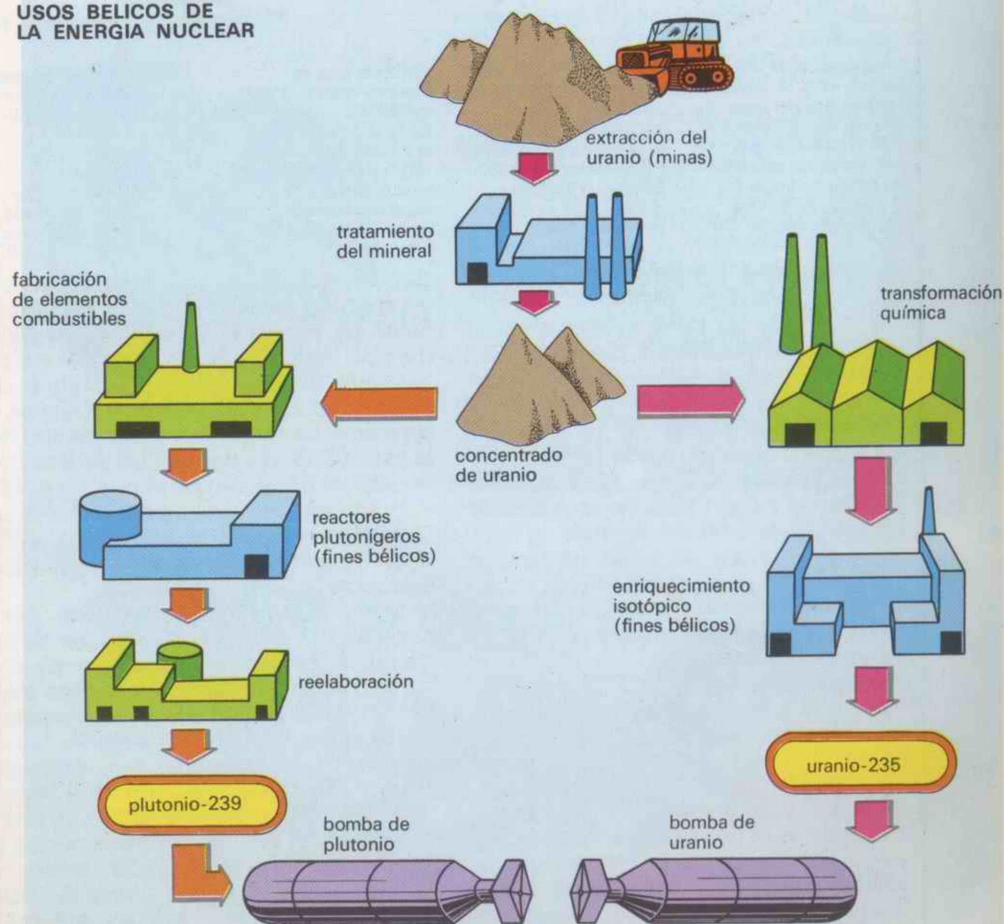
Estructura de la bomba En una bomba atómica se persigue como finalidad la liberación de toda la energía de fisión procedente de la reacción en cadena, de una forma incontrolada y en pocos instantes, es decir, en forma de *explosión nuclear*. Para ello, una bomba debe contener una cantidad total de material fisible, a base de isótopos enriquecidos, superior a la masa crítica, así como un diseño geométrico favorable; pero dado que la reacción en cadena sólo debe producirse en el momento de la explosión, dicha cantidad debe estar fraccionada en pedazos de masa inferior a la crítica, que se reúnen para formar la masa supercrítica (bombardeándose además con neutrones para favorecer la reacción en cadena) en el momento de la detonación.

Existen dos métodos para reunir las masas de material fisible. En una bomba del tipo de la arrojada sobre Hiroshima, una parte de esta masa se lanza sobre la otra siguiendo una dirección rectilínea. En una bomba de implosión, del tipo de la arrojada sobre Nagasaki, el explosivo atómico tiene la forma de un cascarón hueco, alrededor del cual hay un reflector metálico que impide escapar a los neutrones, y una capa de explosivos químicos de gran potencia. Cuando éstos explosionan, el conjunto se convierte en una única masa supercrítica de material fisible provocándose la explosión.

Los efectos de una bomba atómica pueden clasificarse en efectos térmicos, efectos mecánicos (onda de choque, vientos, efectos sísmicos) y efectos radiactivos. Los isótopos radiactivos dispersados por la atmósfera, incluso a grandes distancias de la explosión, constituyen la llamada *lluvia* o *precipitación radiactiva* (*fallout*).

Véase **Bomba "inteligente"; Bomba y mina; Fisión nuclear; Fusión termonuclear; Núcleo atómico**

USOS BELICOS DE LA ENERGIA NUCLEAR



Bomba hidráulica

La bomba más eficaz y duradera es quizás la que late en nuestro pecho. El corazón realiza la actividad de bombeo más vital que se conoce, haciendo circular la sangre con notable eficacia por todo el cuerpo humano. Las contracciones musculares que conocemos como *latidos cardiacos* transmiten una fuerte presión a la masa sanguínea, alrededor de 2,6 miles de millones de veces durante los 70 años de vida media de un individuo. Y la cantidad de sangre bombeada durante ese tiempo es impresionante: 155 millones de litros.

Sin embargo, normalmente pensamos en las bombas como en dispositivos hechos por el hombre para mover —generalmente para subir— de un lugar a otro fluidos (líquidos o gases) e incluso sólidos en suspensión en fluidos (mezclas de agua y carbón por ejemplo).

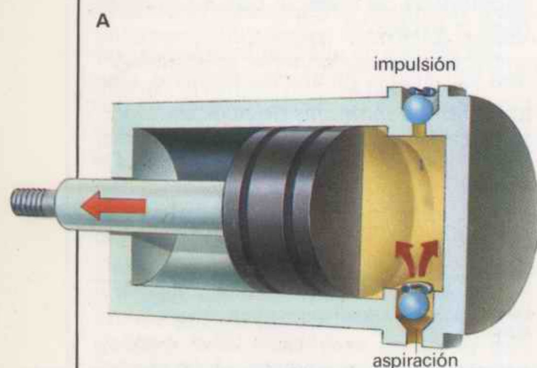
La relación de las actividades en las que puede emplearse una bomba es prácticamente ilimitada: se usa en los pozos de petróleo y de gas natural y para las correspondientes tuberías de suministro; el agua de enfriamiento usada en las estructuras industriales se hace circular mediante bombas, siendo también imprescindible este aparato en los sistemas de regadío y de drenaje de zonas pantanosas.

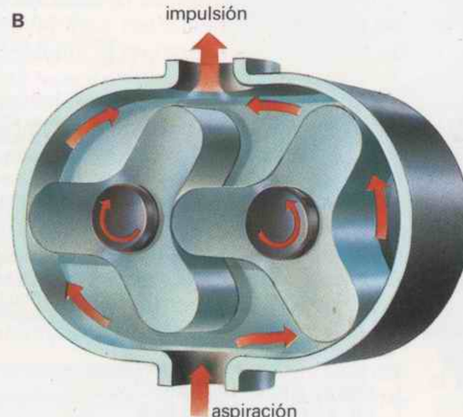
Es tan grande la necesidad de mover fluidos de cualquier clase, que en toda la historia de la Humanidad encontramos ejemplos del uso de bombas. Los primeros testimonios son del año 300 a. de C., cuando el famoso matemático Arquímedes realizó una especie de gran tornillo a espiral, dispuesto firmemente alrededor de un árbol, que, girando, vaciaba el agua de la quilla de un barco, transportándola a lo largo de su propia rosca. Todavía más perfeccionada era una bomba romana, del año 100 a. de C. aproximadamente, que ya usaba válvulas, un cilindro y un pistón. Aparatos basados en este principio, de concepción nada simple, llamados *bombas de desplazamiento positivo*, son ampliamente usados todavía hoy, si bien con muchos perfeccionamientos.

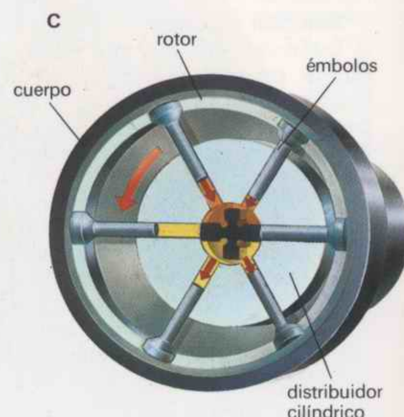
Bombas de desplazamiento positivo El principio en el que se basa una bomba de desplazamiento positivo es el de producir el movimiento de un fluido haciéndolo entrar primero en una cámara y empujándolo después fuera, a través de la correspondiente salida, mediante el llenado parcial de la cámara por una parte móvil del mismo mecanismo bombeante. La disminución de volumen así producida transmite al fluido una cierta presión. En la bomba romana y en sus "descendientes" hay válvulas antirretorno montadas en la entrada y a la salida, que determinan la dirección del fluido, y un émbolo, parecido al pistón de un motor, que desplaza el fluido. Se trata de la llamada *bomba volumétrica*, de la que un ejemplo común es la bomba de la bicicleta, que aspira el aire en su cilindro y lo empuja después a presión, a través de la válvula, dentro de la cámara de una rueda. Con los líquidos se corre el riesgo de que el pistón y la válvula se atasquen si el fluido es demasiado viscoso (denso o de deslizamiento lento) o si contiene en suspensión sólidos abrasivos.

Similar a la bomba volumétrica, pero con alguna ventaja más, es la *bomba de diafragma*. En lugar de un émbolo que entra físicamente en la cámara y hace salir el fluido, esta bomba posee un diafragma —similar a la piel de un tambor— hecho de goma o de cualquier otra sustancia elástica recubriendo un lado de la cámara. Un asta colocada en su centro, en el lado externo, la hace mover hacia dentro y hacia fuera. Empujando hacia dentro, el diafragma crea el mismo efecto de desplazamiento que el pistón. Sin embargo, como ninguna parte mecánica entra en contacto directo con el fluido y como el diafragma constituye un cierre más eficaz, la bomba de diafragma puede ser usada también para fluidos de alta viscosidad, como por ejemplo el aceite lubricante. A la entrada y a la salida de esta bomba se montan válvulas de seguridad como precaución ante posibles riesgos a los que están sometidas las bombas. Y es que, en tanto continúe funcionando, la bomba acumula presión, o empuje, aunque no haya ningún fluido que la atraviese; y esa presión, si no encuentra desahogo, puede llegar a romper la bomba o incluso a causar una explosión.

El último tipo de bomba de desplazamiento importante es el de la llamada *bomba rotativa*. En el interior de la cámara, donde entra el fluido, hay dos engranajes estrechamente conectados entre sí. El líquido que penetra por un lado de la bomba, a través de una entrada sin válvulas, es puesto en movimiento por la rotación de los engranajes y transportado hacia el lado de la salida, donde tampoco hay válvulas. La diferencia sustancial consiste en que aquí el flujo es continuo y uniforme, mientras que en las bombas a diagragma y volumétricas se crea un flujo oscilante en el fluido. La bomba rotativa puede estar constituida también por un único árbol al cual están unidas unas paletas. El líquido, a la entrada, es introducido entre las paletas, arrastrado por toda la circunferencia de la cubierta circular y forzado a salir por la descarga situada en el lado opuesto.

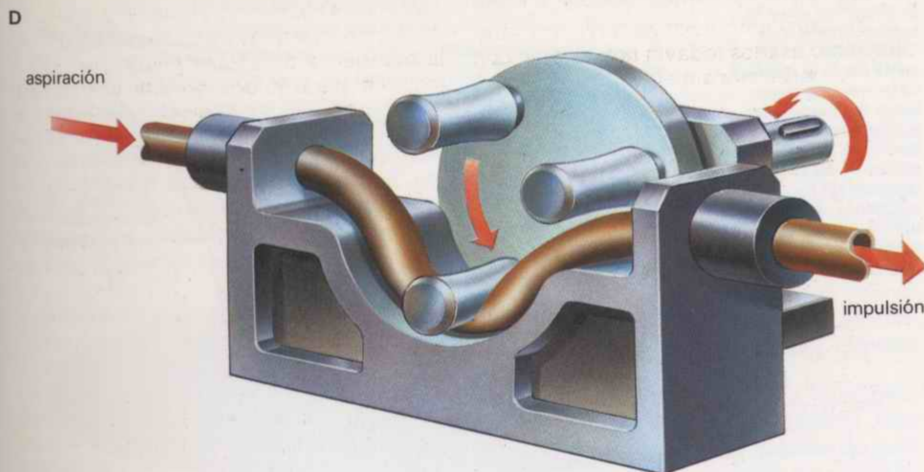


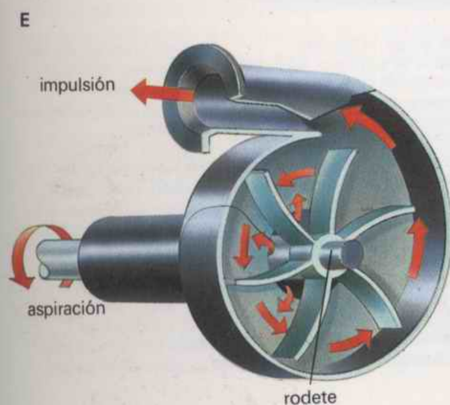


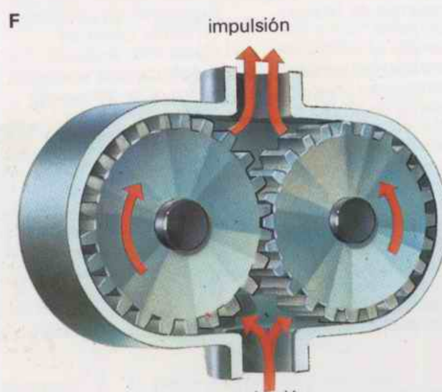


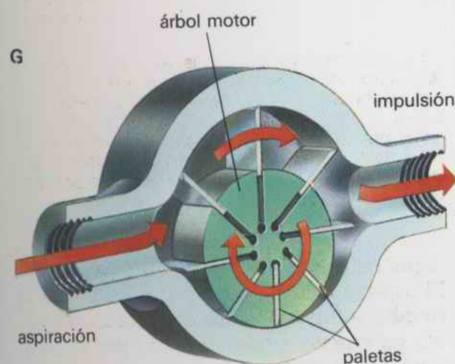
En la *bomba de émbolo* (A), el movimiento del líquido se produce por presión, y se impide el regreso por medio de válvulas de esfera o conos. En la *bomba de lóbulos* (B), el movimiento del líquido es forzado, pero la bomba efectúa la retención con los mismos lóbulos, no necesitándose válvulas antirretorno. En la *bomba de émbolos radiales* (C), el líquido se empuja con pistones, que se mueven gracias a una excéntrica. En la página siguiente: la *bomba peristáltica* (D), un modelo muy usado en los experimentos de Química analítica de laboratorio, en los que es necesario trasvasar pequeñas cantidades de líquidos en condiciones de absoluta pureza. La *bomba centrífuga* (E) es muy apropiada para impulsar líquidos no homogéneos y con sustancias en suspensión, como el barro. La *bomba de engranaje* (F) es la más comúnmente utilizada para la circulación del aceite en los motores de los automóviles. En G y H se representan *bombas de paletas;* en I, una *bomba centrífuga* para grandes caudales; y en J, bomba para grandes caudales y bajas presiones.

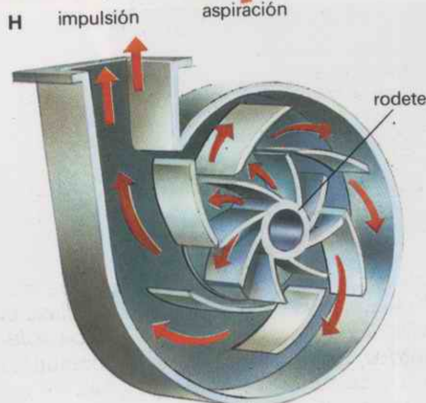
Bomba cinética En lugar de desplazar fluidos disminuyendo mecánicamente el volumen disponible para ellos en una cámara, las bombas cinéticas aumentan la velocidad acelerando su movimiento. El mejor ejemplo está constituido por las *bombas centrífugas*, en las que los fluidos son introducidos en una cámara circular:

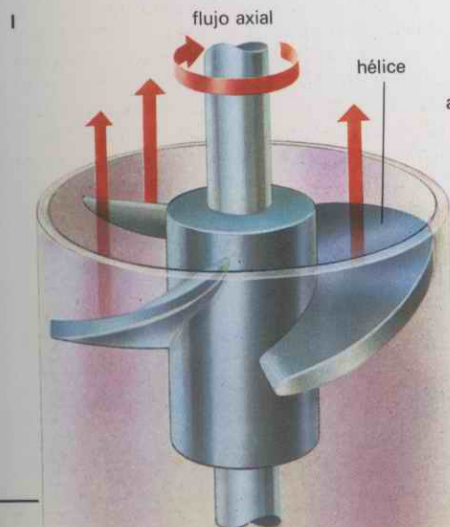


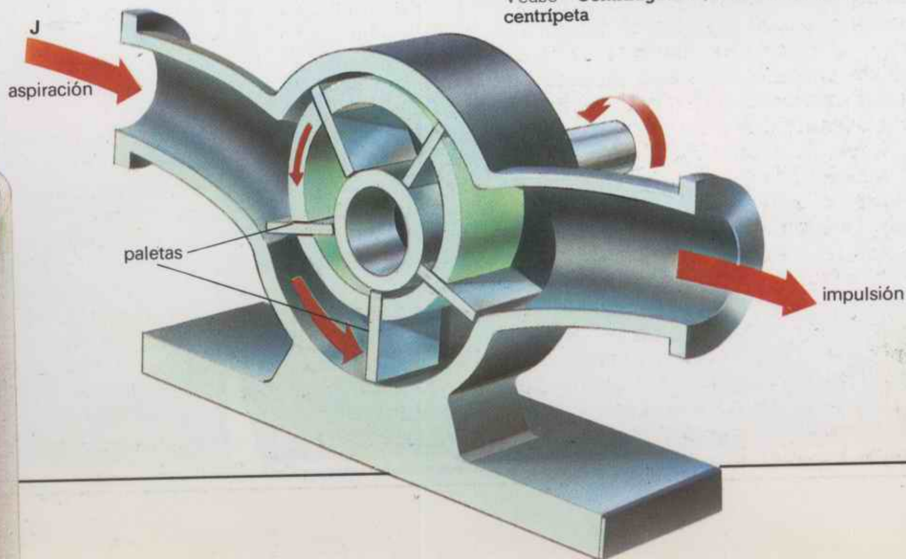












en el centro de la cámara hay un dispositivo, parecido a una rueda de hélice radial, llamado *rotor*. El fluido que entra es lanzado hacia el exterior contra el borde de la cámara por efecto de la fuerza centrífuga (fuerza que puede experimentarse atando un peso a un hilo y haciéndolo rotar sobre la cabeza). La presión de la fuerza centrífuga empuja al fluido con la suficiente presión como para hacerle alcanzar la salida, colocada más arriba que la entrada. Ya que en una bomba centrífuga no es necesario que las partes en movimiento se correspondan perfectamente las unas con las otras, ni que cierren herméticamente la cámara, ni que funcionen como válvulas, este tipo de bomba se usa para desplazar fluidos viscosos o que contengan sólidos en suspensión (como, por ejemplo, las aguas residuales).

Ciertamente, la bomba cinética más conocida es la que mueve el aire para la ventilación y la refrigeración, es decir, el ventilador común. Técnicamente, los ventiladores forman parte de un grupo llamado *bombas centrífugas de flujo axial*, porque en ellas el movimiento del fluido, sea aire o agua, es paralelo al eje del árbol que mueve la hélice.

Otras bombas cinéticas aprovechan la fuerza del aire en movimiento o la presión atmosférica para acelerar el movimiento del fluido que se desea bombear. Una bomba de elevación de aire o de gas se usa para extraer del suelo fluidos, como el petróleo. Aire o gas comprimidos son introducidos a través de tuberías, de manera que alcancen el fluido en el fondo, en donde se ha sumergido el árbol de la bomba. El aire o el gas usados, más ligeros que el fluido, tienden a subir a la superficie, empujando así hacia arriba al fluido.

La *bomba de Venturi* es famosa por su uso en los pulverizadores (o *sprays*). Cuando aumenta la velocidad y dismimiye la presión del aire o del gas que entran en el estrècho orificio del vaporizador, éstos arrastran los líquidos en su propio flujo y se mezclan con ellos, transformándolos en infinitas gotitas similares a niebla, con un efecto que fue demostrado experimentalmente por primera vez por G. B. Venturi (1746-1822).

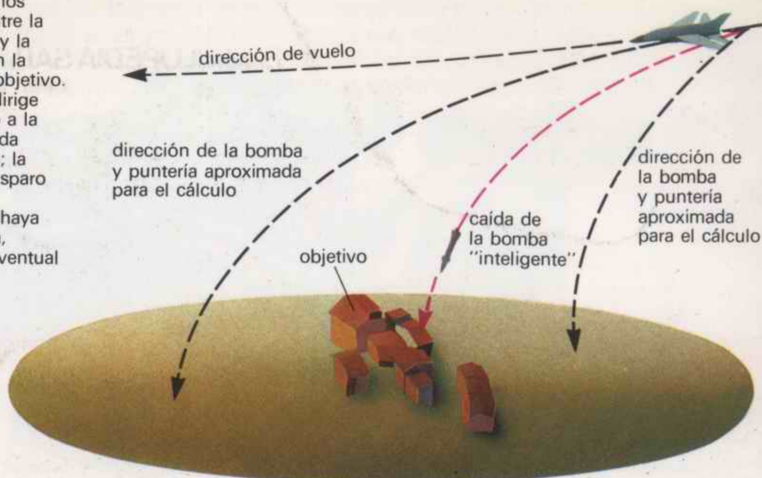
Véase **Centrifugadora; Fuerzas centrífuga y centrípeta**

Bomba "inteligente"

Las bombas "inteligentes" tienen su origen en la II Guerra Mundial, cuando los pilotos suicidas *(kamikaze)* japoneses bajaban en picado sobre las naves estadounidenses con sus aviones literalmente "repletos" de explosivos, centrando con precisión el objetivo. El principio base de las bombas "inteligentes" es el mismo, con la diferencia de que, en lugar de pilotos suicidas, la conducción de estas armas hacia el objetivo es confiada a equipos electrónicos. Una bomba "inteligente" es, en la práctica, una bomba normal de caída libre a la que se acopla una ojiva "buscadora" en la parte anterior, es decir, un equipo de autodirección que permite a la bomba dirigirse automáticamente hacia un determinado objetivo. El sistema de guiado contenido en la ojiva "buscadora" utiliza una pequeña computadora que analiza datos de velocidad, de altura y de condiciones atmósfericas suministrados por diversos aparatos, como giroscopios, radar y dispositivos barométricos.

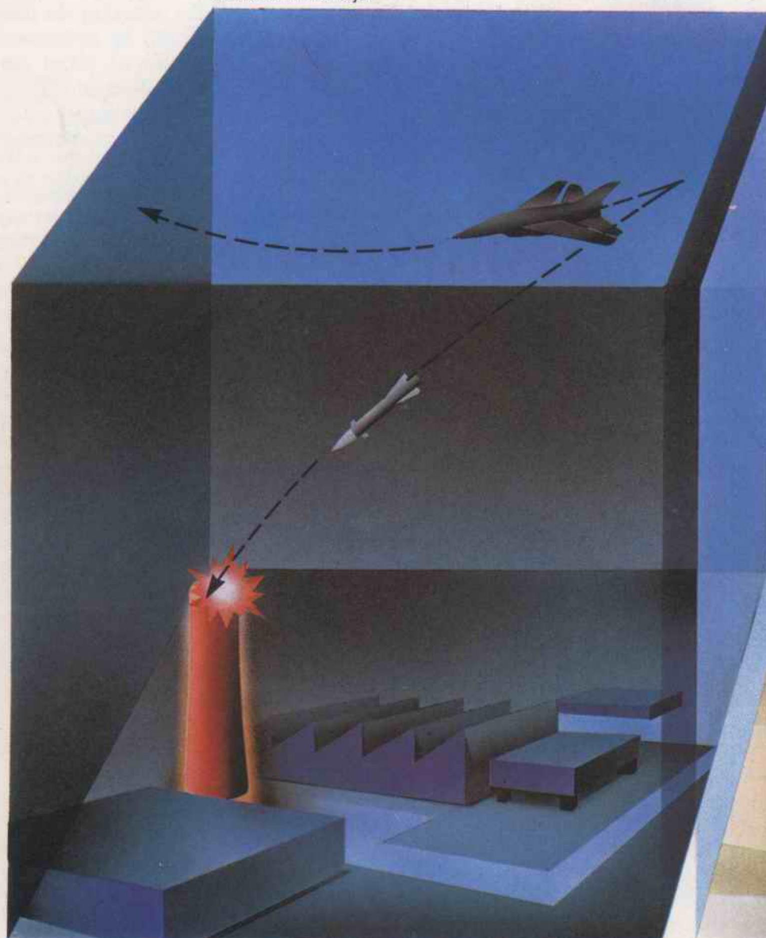
En contra de lo que ocurre con un misil aire-tierra, que está dotado de su propio aparato propulsor, la bomba "inteligente" no posee ningún motor y vuela en virtud de su propio peso, que la hace descender a tierra: es decir, utiliza la "propulsión gravitacional".

Las bombas "inteligentes" son más eficaces que las convencionales porque el avión lanzador puede soltarlas a una ma-



Aquí arriba vemos la diferencia entre la bomba normal y la "inteligente" en la caída hacia el objetivo. La primera se dirige hacia él debido a la puntería realizada desde un avión; la precisión del disparo depende de lo cuidadosa que haya sido la puntería, además de la eventual presencia de factores contrarios, como por ejemplo el viento. Por su parte, la bomba "inteligente" tiene delante de sí un objetivo al que "sabe" identificar, y posee además mecanismos capaces de corregir su trayectoria de caída. Estos últimos forman parte normalmente de un complejo sistema que comprende: un sensor capaz de reconocer el objetivo y determinar su posición; un motor capaz de suministrar empuje suficiente para alargar el tiro si es demasiado corto (acortarlo es posible incluso sin energía suplementaria); un órgano de decisión para las señales que hay que enviar a los sistemas de gobierno (aletas u orientación del empuje del motor cohete).
Abajo, varias maneras de dirigir la bomba hacia el objetivo. A) Visión IR (infrarroja) pasiva, es decir, sistema que detecta la débil emisión del objetivo y que por lo tanto puede localizarlo incluso de noche.
B) Mediante la cámara de televisión colocada en la ojiva de la bomba: la imagen es enviada al avión, que puede indicar las correcciones de caída a la bomba.
C) Con el apoyo de un láser exterior: el avión suelta la bomba y escapa al alcance de las defensas antiaéreas enemigas; desde esta segunda posición, ilumina con un láser el objetivo; la bomba percibe la señal y se dirige contra el mismo.
D) Si el objetivo es muy visible para el radar, una bomba dotada de este sistema lo localiza fácilmente.

A: visión infrarroja



B: búsqueda televisiva



yor distancia del objetivo, no exponiéndose demasiado al fuego antiaéreo enemigo y evitando verse envuelto en los efectos explosivos de la bomba que ha lanzado. Son también más eficaces porque son capaces de dirigirse y neutralizar con precisión casi absoluta un determinado objetivo, para "batir" el cual, el bombardeo tradicional requiere de un mayor número de bombas, lanzadas con aproximación sobre un área alrededor del objetivo.

Sistema de guía Las tecnologías utilizadas en el desarrollo de este tipo de armas (que han visto su primer empleo masivo en la guerra de Vietnam) y muchos datos sobre su funcionamiento y sobre sus modalidades de empleo están todavía protegidos por el secreto militar. De todos modos se sabe que las bombas "inteligentes" pueden tener sistemas de guía de varios tipos: por televisión, por láser, por rayos infrarrojos (son los mismos sistemas empleados en los misiles aire-suelo), y que están dotadas de superficies aerodinámicas de control (pequeñas alas, *flap*, timones de dirección) que, moviéndose oportunamente, permiten cierta maniobrabilidad a la bomba durante su caída.

El sistema de guía óptico-televisivo consiste en una pequeña cámara montada en la ojiva de la bomba. El piloto del avión lanzador (que puede ser un bombardero ligero, un vehículo de ataque al suelo, o un cazabombardero) localiza visualmente el objetivo y por medio de un mando a distancia enfoca sobre el blanco la cámara de la bomba y procede a soltarla. El piloto se encarga después de mantener el objetivo enfocado en una pantalla instalada en su cuadro de mando, viendo —y por lo tanto controlando— lo que "ve" la cámara de la bomba. (En una variante de este sistema, el piloto interrumpe el contacto con la bomba después de apuntarla y soltarla. Es el caso de las armas conocidas por "lanza y olvida", como ocurre con muchos de los misiles aire-tierra actualmente empleados por algunas fuerzas aéreas).

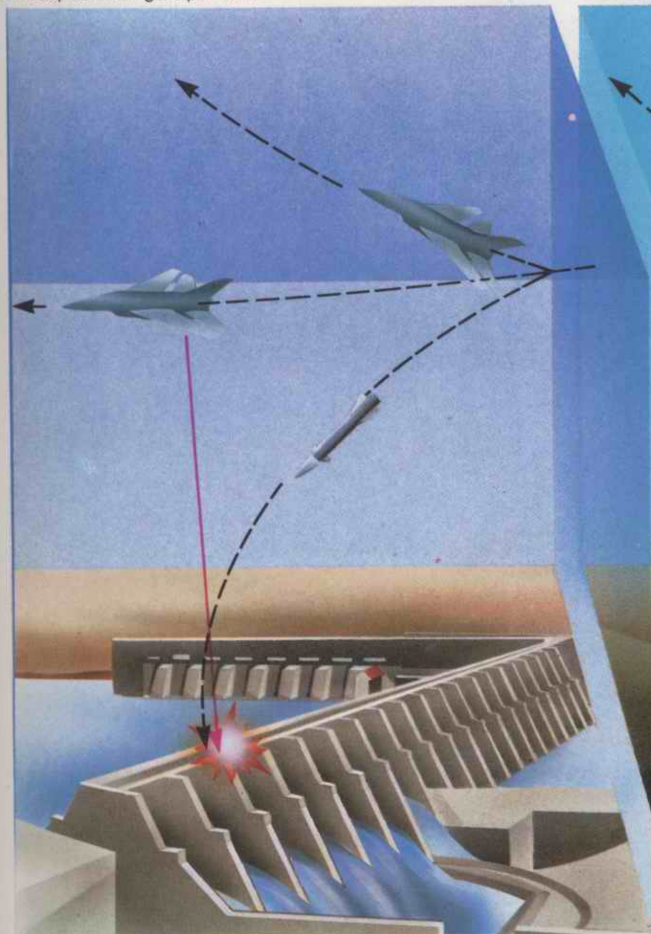
La telecámara de la bomba "inteligente" sigue manteniendo el objetivo bajo control, lo cual permite al sistema de guía corregir en cualquier instante las varias fases del vuelo, recogiendo continuamente datos sobre aceleración, velocidad respecto al suelo y todas las demás "variables"; el sistema envía estas informaciones a la computadora, que a su vez acciona el sistema de control permitiendo así que la bomba "inteligente" siga una trayectoria regular sobre el objetivo. La bomba "inteligente" guiada por láser tiene la misma capacidad de autodirección que el sistema óptico-televisivo, pero, en lugar de seguir una imagen del objetivo, se basa en la medida de la distancia que la separa del mismo, dato éste suministrado por el rayo láser que el piloto del aparato lanzador ha dirigido sobre el blanco. La cabeza "buscadora" dispone en este caso de un "receptor" que analiza constantemente los datos de distancia bomba-objetivo para mantener a la bomba alineada en la correcta trayectoria de caída, proporcionando, mediante algunos servomecanismos, los necesarios movimientos a las superficies de control.

El grado de perfección de las bombas "inteligentes", actualmente en fase de desarrollo en el seno de las fuerzas aéreas de los Estados Unidos, y la capacidad tecnológica de las industrias del sector llevarán en breve tiempo a la realización de ingenios de cabeza nuclear o convencional, de muy alto potencial, capaces de alcanzar objetivos fijos o móviles a muy grandes distancias.

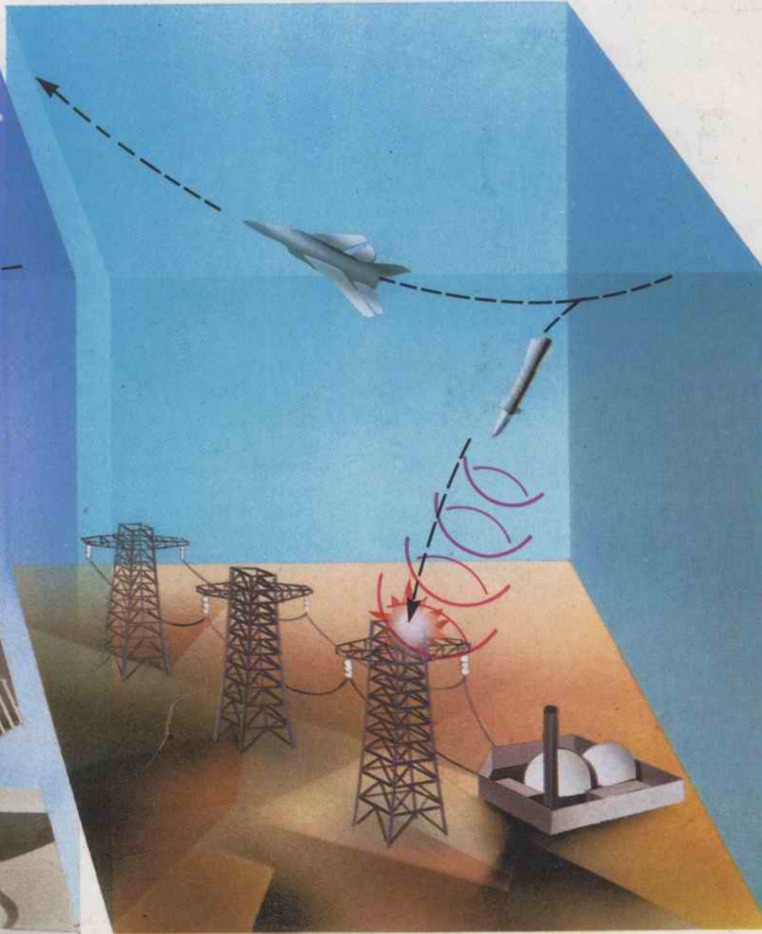
Una bomba "inteligente" de tipo clásico es la *Rockwell GBU-15 "Hobos"*; tiene un diámetro de 45 centímetros y una longitud de 375 centímetros y es capaz de desempeñar su misión dentro de un radio útil de unos 2.750 metros a partir del momento en que es soltada. La *GBU-15* ha sido obtenida añadiendo a bombas normales del tipo *MK. 84* y *MK. 118* una cabeza "buscadora" con el correspondiente sistema de autoguiado (televisivo).

Véase **Bomba atómica; Bomba y mina**

C: búsqueda con guía por láser



D: búsqueda con guía por radar



Bomba y mina

Una de las más expresivas imágenes de desolación del mundo contemporáneo fue la ofrecida por Alemania después de la II Guerra Mundial: una terrorífica visión de la capacidad de causar una total destrucción. Y el principal instrumento utilizado para realizar aquella devastación fue la bomba de tipo convencional: ésta fue usada por los aliados en tal medida (1.554.000 toneladas de bombas se lanzaron sobre Alemania durante la guerra), que algunas partes del país debieron de reconstruirse literalmente desde los cimientos.

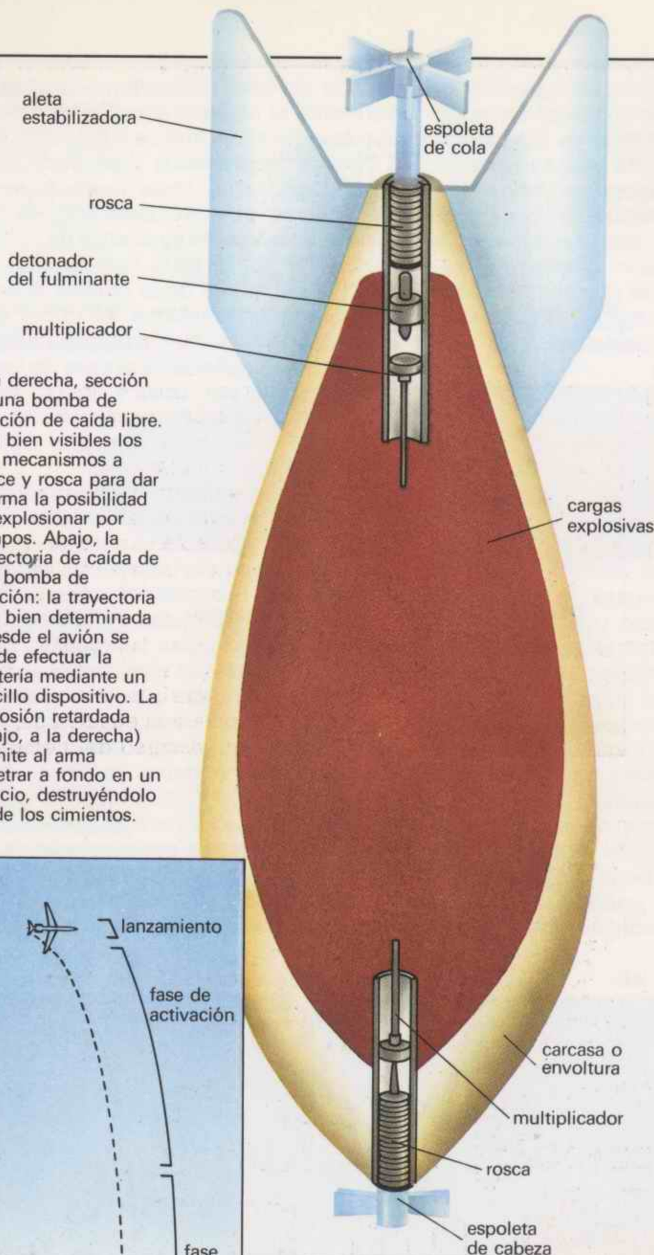
Bomba convencional La bomba explosiva convencional es poco más que un pesado contenedor de hierro lleno de explosivo (ordinariamente a base de nitroderivados) proyectado para hacer explosión a continuación de un choque, causando destrucción y muerte en el área objetivo.

Algunas variantes tienen la posibilidad de provocar incendios (bombas incendiarias); hay también bombas atómicas y termonucleares (de hidrógeno), bombas de metralla múltiple, bombas fumígenas y bombas que explosionan por causas diferentes del choque (algunas tienen dispositivos de explosión por tiempos, otras lo hacen solamente a determinadas alturas utilizando para su activación las diferencias de presión atmosférica o bien explosionan después de haber penetrado en el interior del objetivo). La bomba de tipo tradicional funciona según principios muy semejantes a los que explican las explosiones que se verifican en el cañón de los fusiles.

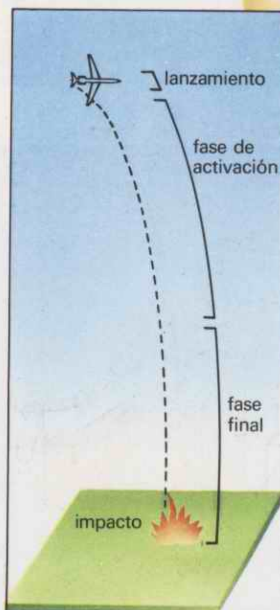
Balística interior La bomba se lanza desde un avión en vuelo, una vez que el observador-bombardero ha situado con cálculos matemáticos el punto de lanzamiento que hará caer la bomba exactamente sobre el objetivo establecido. La bomba tiene forma cónica y está provista de aletas en su parte posterior para darle estabilidad durante su caída.

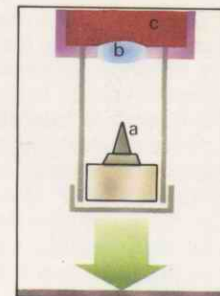
Cuando la bomba toca tierra en la posición correcta de cabeza abajo, un perno situado en la envoltura es empujado hacia el interior contra una pequeña carga explosiva, llamada *detonador*, que ceba a la principal y más grande, elevando su temperatura hasta el punto de inflamabilidad (temperatura de detonación): el sistema de funcionamiento es análogo al del cartucho explosivo utilizado para explosionar la dinamita. Esta detonación libera la energía química que contiene el explosivo bajo forma de gas, cuya presión aumenta con gran rapidez hasta que el ingenio explosiona.

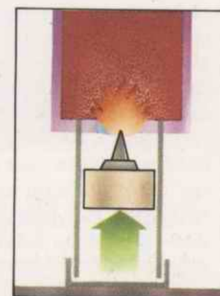
Mina La mina es un ingenio explosivo semejante a la bomba, pero provisto de una envoltura más delgada; puede ser colocada bajo el agua o bien sobre el terreno, y ordinariamente requiere para hacer explosión que se verifiquen una serie de condiciones.

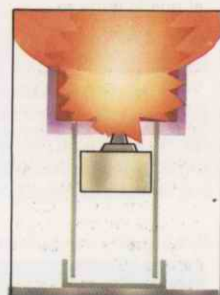


A la derecha, sección de una bomba de aviación de caída libre. Son bien visibles los dos mecanismos a hélice y rosca para dar al arma la posibilidad de explosionar por tiempos. Abajo, la trayectoria de caída de una bomba de aviación: la trayectoria está bien determinada y desde el avión se puede efectuar la puntería mediante un sencillo dispositivo. La explosión retardada (abajo, a la derecha) permite al arma penetrar a fondo en un edificio, destruyéndolo desde los cimientos.



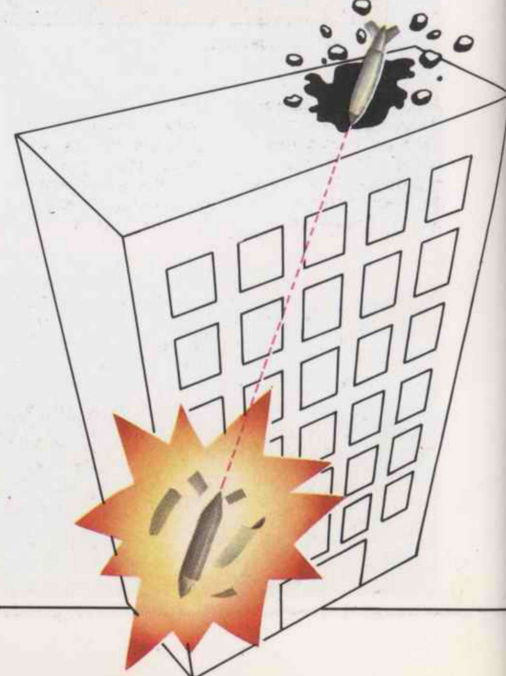


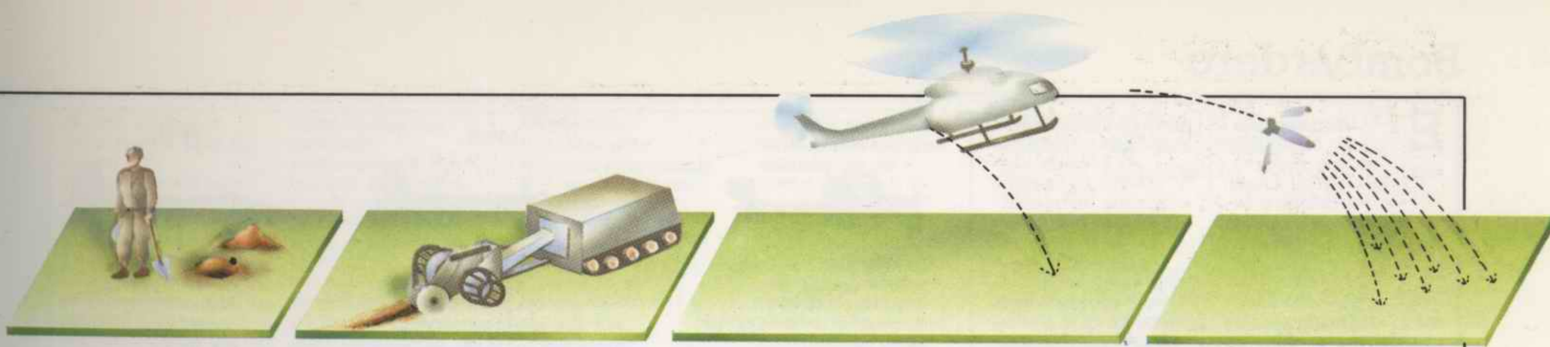


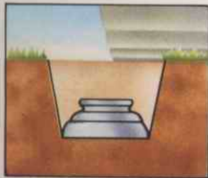


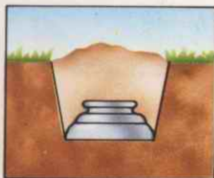
La explosión por tiempos se consigue mediante un percutor (a) del fulminante (b) (arriba). En el momento del impacto, es lanzado hacia el multiplicador (c), que inicia una combustión progresiva (centro). La deflagración lenta ha alcanzado la carga (abajo), que hace explosión.

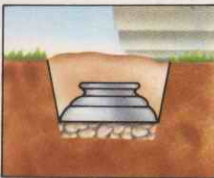
Algunas minas, especialmente las de tierra, tienen un sistema de activado a presión (minas de contacto) que se basa en un principio muy similar al ya mencionado de las bombas. Otras son, en cambio, proyectadas de manera que hagan explosión como consecuencia de variaciones en el campo magnético producidas por el paso de un submarino o de una nave, o bien como consecuencia de las modificaciones de la presión hidrostática producidas por la aproximación de esos medios navales; pueden, asimismo, estar provistas de un detonador por tiempos que inicia la explosión en un momento determinado. Las minas acústicas, ancladas bajo el agua,











En el diseño superior, colocación de las minas (minado) empleando diversos métodos. A la izquierda, excavación manual de un hoyo en el que la mina se coloca y cubre con tierra, que después se allana. En el centro, carro minador, vehículo-oruga que al moverse excava una trinchera en la que coloca las armas, y lo rellena a continuación. A la derecha, minado por lanzamiento desde helicópteros. Arriba, la mina en el hoyo, cubierta de una ligera capa de tierra de espesor suficiente para ocultarla, pero dejando bastante flexibilidad en el suelo para permitir la transmisión de la presión que la hará explosionar. Una delgada capa de piedras debajo la mina favorece la sensibilidad a la presión. A la derecha, retículo de puntos que representa la situación en que son colocadas las minas. Estas no son distribuidas al azar, ya que ese terreno puede ser eventualmente ocupado por las fuerzas propias, y el desminado sin saber dónde se encuentran sería entonces muy lento y peligroso.

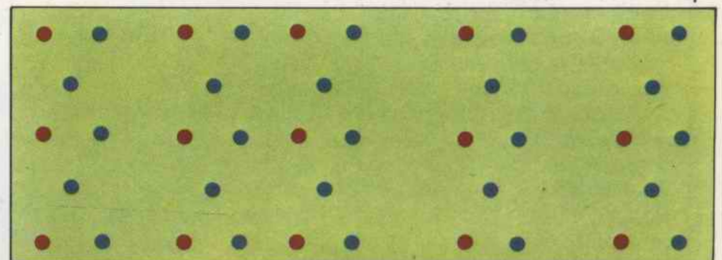
se activan por las ondas sonoras emitidas por el objetivo al aproximarse.

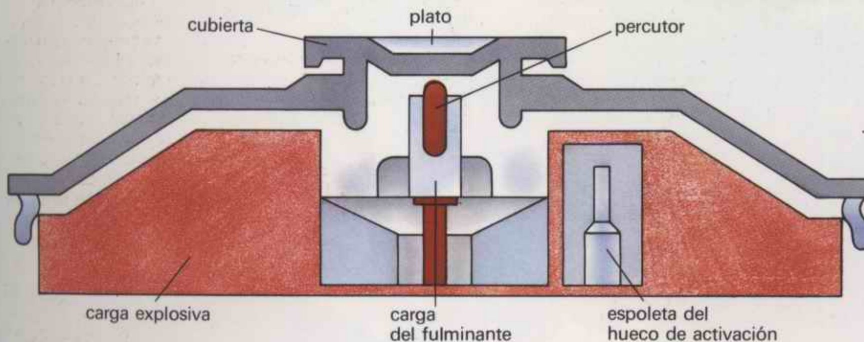
Explosión Bombas y minas realizan su trágico fin —muerte y destrucción— liberando enormes cantidades de energía que originan potentes ondas de choque en el agua o en el aire, las cuales producen el mismo efecto de súbitas y violentas ráfagas de viento y provocan una fuerte sacudida en el área del objetivo.

La energía de estas ondas de choque aumenta proporcionalmente a la cantidad de explosivo contenida en la carga, y disminuye con el transcurso del tiempo y a medida que se alejan del punto de explosión; también el área superficial de las construcciones, el tipo de paisaje y los objetos situados en los alrededores tienen una cierta influencia en la propagación de las ondas sonoras.

Las bombas de profundidad están construidas de forma que pueden penetrar bajo la superficie terrestre y allí dar lugar, al hacer explosión, a sacudidas semejantes a las provocadas por un terremoto. Otras bombas utilizan la energía de la explosión para difundir el material mortífero contenido en la propia bomba. Ejemplos comunes de este último tipo son las bombas de metralla múltiple, que tienen alrededor del explosivo una espiral metálica o un cilindro de fragmentación iniciada que se trocean por la explosión, originando un gran número de peligrosas esquirlas.

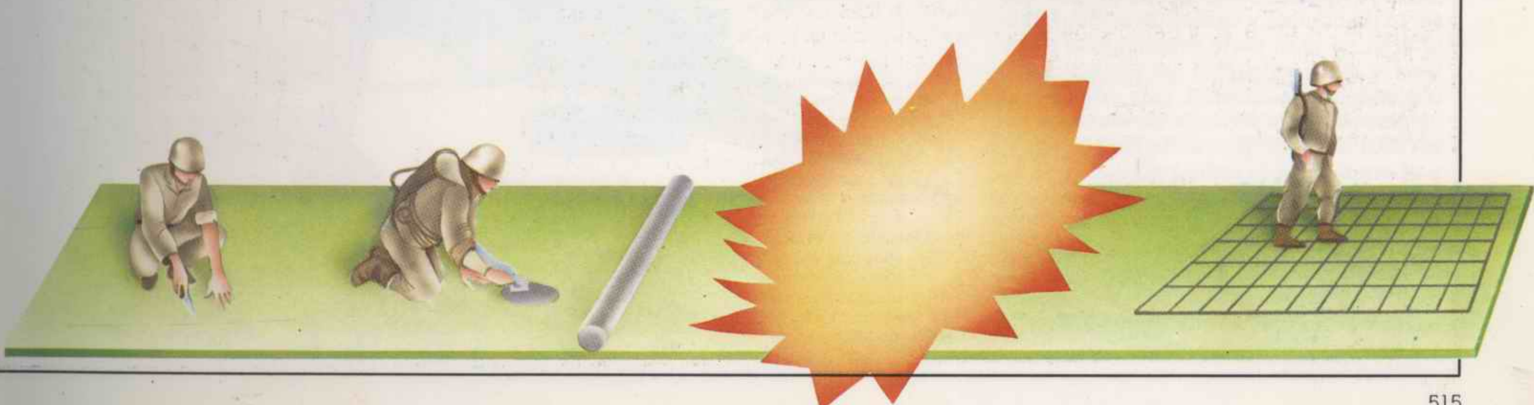
Como consecuencia de los notables progresos realizados en la tecnología de las armas, la bomba de hierro convencional está quedando rápidamente anticuada. Actualmente, los misiles autodirigidos y las armas nucleares constituyen las realizaciones más avanzadas en ese campo.





Arriba, sección de una mina. Hoy día la mayor parte de estas armas es de plástico, con explosivo y mecanismo de fuego. Este se activa por presión, aunque sea leve, sobre el centro de la cubierta, que empuja al percutor contra una pequeña carga fulminante y hace estallar la mina. Abajo, cómo neutralizar las minas. Una vez localizado el artefacto (izquierda), se le puede extraer y desactivar, hacerlo explosionar presionando el terreno con un rodillo, o distribuir la presión sobre el terreno caminando sobre una red que reparte el peso del hombre.

Véase **Armas nucleares; Bomba atómica; Cazabombardero**



Bombardero

El 30 de junio de 1910, un proyectista y piloto norteamericano, Glenn Curtiss, hizo el siguiente experimento: ató con cuerdas, al costado de uno de sus rudimentarios aeroplanos, un cierto número de bombas de ejercicio descargadas, y voló sobre un blanco constituido por un barco, dejándolas caer encima. Fue la primera demostración práctica de que la última "criatura" de la gran familia de los medios de transporte, el aeroplano, podría llegar a ser un instrumento bélico. Un año después, en octubre de 1911, durante la guerra italo-turca, tuvo lugar el primer bombardeo aéreo de la Historia: un aparato de la aviación italiana, un *Blériot*, descargó cuatro grandes granadas sobre una concentración de tropas turcas, y, apenas un año más tarde, la aviación española llevó a cabo bombardeos en la guerra de Marruecos. Había nacido el bombardero aéreo.

La llegada de los aeroplanos había hecho comprender a las autoridades militares de todo el mundo que las posibilidades bélicas de este nuevo medio de transporte eran enormes, pero al principio existió bastante confusión en la formulación de los criterios de empleo de los aviones en la guerra.

Sólo en las fases iniciales de la I Guerra Mundial se pudo proceder a una correcta clasificación de los aviones militares, que se dividieron en: *caza*, *bombardero*, *de reconocimiento* y *aviación embarcada*. Pronto se comprendió que el bombardero era el arma ofensiva por excelencia, y por ello se estableció la normativa de utilización que conocería su máxima evolución al final del segundo conflicto mundial.

Las velocidades que alcanzaban estos primeros aviones eran muy bajas, del orden de los 140 kilómetros por hora.

Los años entre las dos guerras mundiales constituyeron un período de grandes experiencias, en el cual se registraron importantes cambios en el campo de la aviación militar, de modo que cuando en septiembre de 1939 estalló la II Guerra Mundial se asistió no sólo al choque de las aviaciones opuestas sino también al de las diversas concepciones en materia de guerra aérea.

Al comienzo de los años cuarenta los aviones habían abandonado hacía ya tiempo las estructuras relativamente ligeras y un tanto precarias de los biplanos (revestidos de tela o madera contrachapada y "mantenido el conjunto" por una selva de tirantes y cables de sostén); ahora eran en gran parte enteramente metálicas, y la investigación aerodinámica había encontrado diseños más eficaces; la velocidad de los aviones de combate había alcanzado el umbral de los 400 km/h, y el empleo de la radio para las comunicaciones aire-aire y aire-tierra era ya algo corriente. El radio de acción de los aviones militares superaba en algunos casos los 1.500 km y los bombarderos, literalmente "rellenos" de cañones de pequeño calibre y ametralladoras, semejaban viejos barcos erizados de armas.

Italia

Caproni CA-3, I G. M.: peso al despegue, 3,8 t; vel., 140 km/h; autonomía, unos 1.000 km; techo práctico, 4.800 metros

URSS

Tupolev TB-3, años treinta: peso al despegue, 17 t; vel., 250 km/h; autonomía, unos 2.000 km; techo práctico, 5.000 metros.

EE UU

Boeing B-17G, II G. M.: peso al despegue: 29 t; vel., 462 km/h; autonomía, unos 320 km; techo práctico, 10.850 metros.

EE UU

Convair B-36, años cincuenta: peso al despegue, 147 t; vel., 613 km/h; autonomía, unos 15.000 km; techo práctico, 12.954 metros.

EE UU

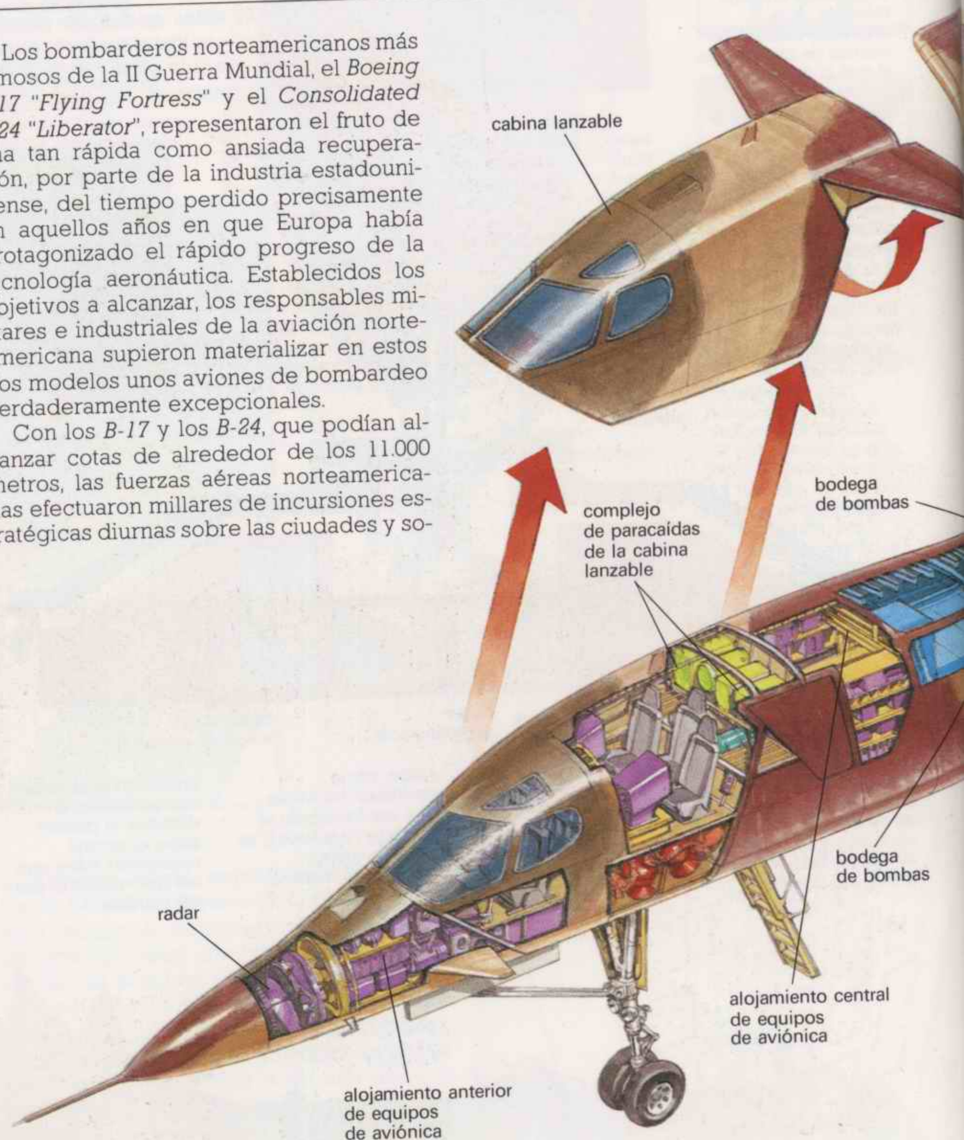
Boeing B-52H, años sesenta-ochenta: peso al despegue, 220 t; vel., 1.014 km/h; autonomía, unos 19.300 km; techo práctico, 16.764 metros.

Europa

Panavia "Tornado" I.D.S., años ochenta-noventa: peso al despegue, 27 t; vel., 2.400 km/h; autonomía, unos 2.800 km; techo práctico, 15.000 metros.

Los bombarderos norteamericanos más famosos de la II Guerra Mundial, el *Boeing B-17 "Flying Fortress"* y el *Consolidated B-24 "Liberator"*, representaron el fruto de una tan rápida como ansiada recuperación, por parte de la industria estadounidense, del tiempo perdido precisamente en aquellos años en que Europa había protagonizado el rápido progreso de la tecnología aeronáutica. Establecidos los objetivos a alcanzar, los responsables militares e industriales de la aviación norteamericana supieron materializar en estos dos modelos unos aviones de bombardeo verdaderamente excepcionales.

Con los *B-17* y los *B-24*, que podían alcanzar cotas de alrededor de los 11.000 metros, las fuerzas aéreas norteamericanas efectuaron millares de incursiones estratégicas diurnas sobre las ciudades y so-



Al avión bombadero "todo-tiempo" se le ha exigido volar velozmente a alta cota y cubrir largas distancias, transportar gran carga de bombas y poseer un dispositivo de puntería para dar en el blanco con gran precisión. Son los mismos requisitos del bombardero moderno, pero algunas características han cambiado profundamente. Por ejemplo, las bombas, o, más genéricamente, las armas de ataque, no se abandonan en caída libre: a menudo son misiles que deben ser guiados hacia el blanco mediante instrumentos electrónicos. Aquí se representa el bombardero norteamericano *Rockwell International B-1*, que entrará en servicio —en su versión mejorada *B-1B*— al final de los años ochenta. Características destacadas del *B-1* son sus alas de geometría variable y la posibilidad de volar a muy baja altura en todas las condiciones atmosféricas día y noche, gracias a un avanzado radar de navegación. El bombardero moderno puede encontrar en la velocidad la mejor defensa del ataque directo de los aviones interceptores, pero, para defenderse de sus armas y sobre todo de la localización-radar de las defensas enemigas, debe disponer de sistemas de defensa "activos" y "pasivos" (como son las "contramedidas" electrónicas, los adecuados "avisadores radar", que advierten cuándo el avión está siendo detectado por un radar enemigo, y toda una serie de aparatos que modifican, falseándolas, las imágenes de radar que va a obtener el adversario). "Clásico" enemigo del bombardero es el misil tierra-aire, ante el que la única arma de defensa es la "contramedida electrónica".

alojamiento para los aparatos de control de las instalaciones de presurización y acondicionamiento

bodega de bombas

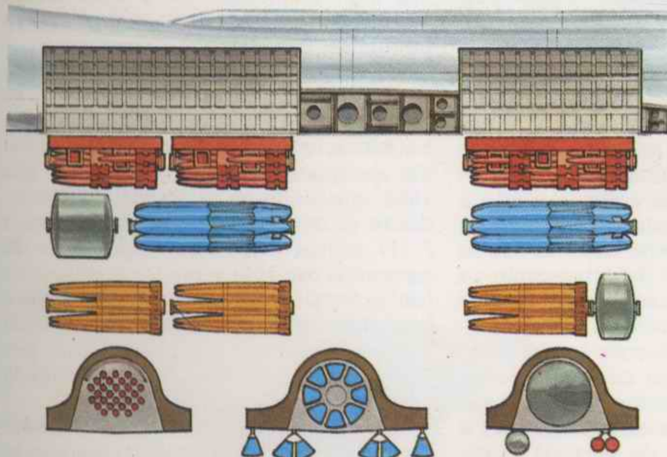
alojamiento posterior de equipos de aviónica

tanques de combustible

turborreactor de doble flujo

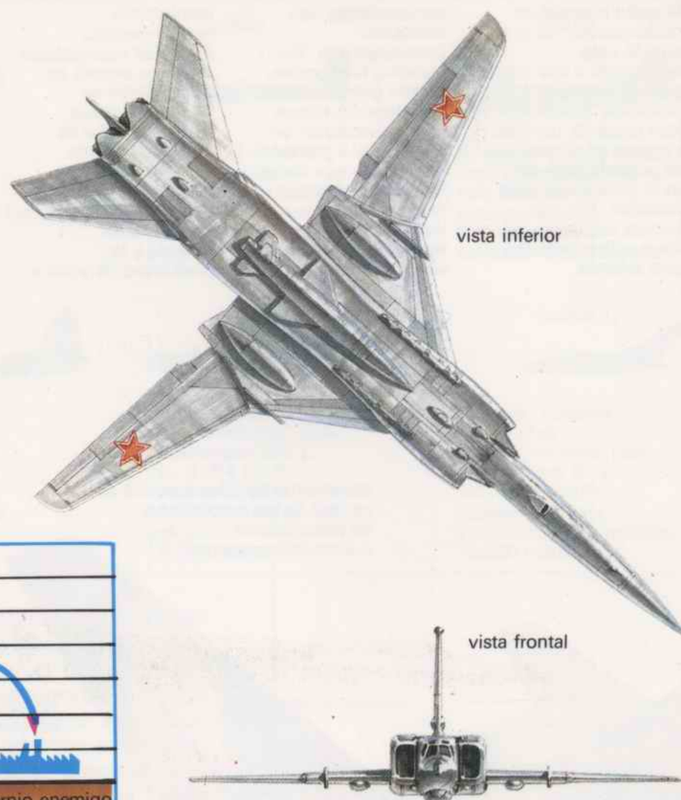
sistema de control de las tomas de aire

extintores

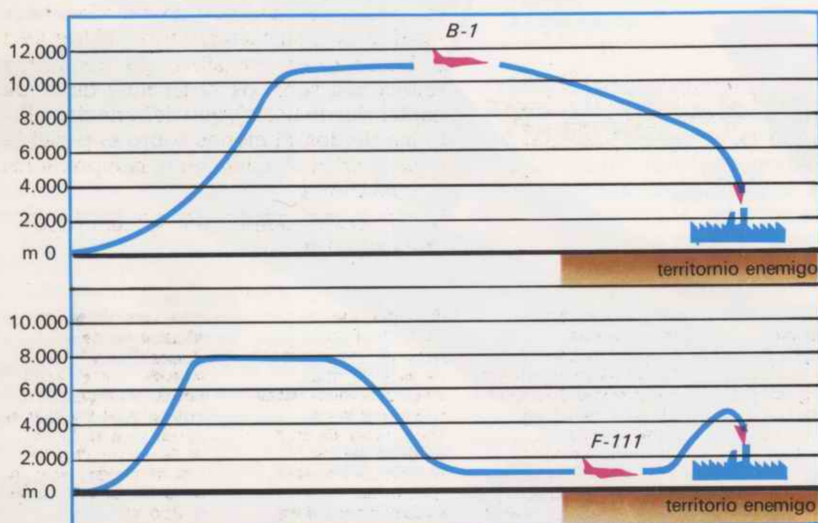


Posibilidades de transporte de armas del bombardero *B-1*. Arriba, la sección del fuselaje con las dos bodegas para las armas: a la izquierda, la anterior, y a la derecha, la posterior. Debajo se puede apreciar su carga compuesta de tres haces de armas de tipo convencional (bombas de caída libre, de explosivo rompedor o incendiario). En azul, dos conjuntos de ocho misiles "de crucero" con cabeza nuclear (los *ALCM*). El conjunto de la izquierda (anterior) está precedido de un depósito suplementario, lanzable en vuelo, que se emplea para aprovechar las posibilidades de carga y aumentar la autonomía. En amarillo, tres haces de misiles con cabeza nuclear de corto radio de acción (los *SRAM*). En las tres secciones anteriores, más abajo, la disposición de armas convencionales y nucleares en el interior y en el exterior del fuselaje, respectivamente.

bre las industrias del Tercer Reich, llevando a cabo bombardeos de precisión. Donde las fuerzas aéreas de bombardeo manifestaron realmente toda su eficacia fue en el Pacífico, en el último período de la guerra aeronaval contra el Japón. La ofensiva aérea contra el Imperio del Sol Naciente, llevada a cabo por las "Superfortalezas Volantes", los grandes tetramotores *Boeing B-29* (que podían transportar 9 toneladas de bombas), demostró al mundo toda la tremenda fuerza devastadora que poseían los bombarderos, y que incluso podían ser empleados como instrumentos de presión psicológica sobre el enemigo. Y fueron precisamente los *B-29* quienes pusieron fin a la guerra, dejando caer sobre Hiroshima y Nagasaki las dos primeras bombas atómicas de la Historia.



El bombardero ruso *Backfire-B* (en nomenclatura OTAN, que corresponde al original soviético *Tupolev-22M*), en las cuatro vistas fundamentales. El *Backfire* es hoy, con el *B-1* de las fuerzas aéreas estadounidenses, el bombardero estratégico de concepción más avanzada. Posee una autonomía de casi 9.000 km, un techo elevado y una velocidad que le permite evitar los ataques directos de los interceptores. Está prevista su permanencia en servicio hasta el año 2000.



En el esquema de la izquierda podemos observar dos tipos de misiones de avión bombardero. Arriba, la "incursión" a alta cota con lanzamiento de bombas "inteligentes", de misiles teledirigidos o autodirigidos. Estos últimos tienen la posibilidad de recorrer hasta un millar de kilómetros, aumentando así al doble la autonomía equivalente del avión. Abajo, la "incursión" a baja cota, por debajo del control de radar.

En la postguerra, los arsenales de las grandes potencias se dotaron con bombarderos todavía más potentes y grandes que los que tanta destrucción habían sembrado en siete años de contienda. Estados Unidos construyó el *Convair B-36 "Peacemaker"*, un gigantesco avión de seis motores que podía transportar la impresionante carga de 38 toneladas de bombas y tenía una autonomía de 15.000 km; los soviéticos respondieron con su *Tupolev Tu-20*. El mundo se ha encontrado así suspendido entre la amenaza potencial constituida por las grandes flotas de superbombarderos nucleares estadounidenses y soviéticos y la capacidad de disuación recíproca derivada precisamente de esa amenaza. De esta forma nació el llamado "equilibrio del terror", en el que se han insertado, desde los años sesenta, las nuevas armas estratégicas "totales": los misiles balísticos intercontinentales.

Después de las experiencias de las guerras "locales" o "menores" (en la más trágica de las cuales, la del Vietnam, se emplearon los más potentes bombarderos norteamericanos todavía en servicio, los *Boeing B-52 "Sratofortress"*, que fueron empleados —con escasos resultados— hasta en misiones tácticas), la tecnología aeronáutica actual ha llegado a establecer dos filosofías fundamentales de empleo para los bombarderos: el bombardero estratégico nuclear a alta cota complementado con los misiles balísticos intercontinentales, y la penetración a baja cota efectuada por bombarderos veloces capaces de eludir la vigilancia de radar adversaria.

Las "novedades" que estos bombarderos suponen en el campo tecnológico afectan a la aviónica y al armamento. En la penetración a baja cota en territorio enemigo, los bombarderos se sirven de un sistema de navegación completamente automático: un radar del tipo *Following Terrain Radar* "lee" el relieve del terreno y conduce el avión automáticamente, valiéndose de un sistema computerizado, a lo largo de la ruta de ataque a una altura prefijada sobre el terreno, sea cual sea su orografía. En el campo del armamento, se va de las llamadas *smart bomb* (bombas "inteligentes"), que buscan el blanco, dirigiéndose a él automáticamente con sistemas de conducción por láser o de rayos infrarrojos (aunque estos ingenios son más propios de los cazabombarderos), a los misiles aire-tierra, de elevada precisión y potencia, y a los misiles "de crucero" en la versión aerolanzable, que se dirigen a su objetivo volando como un avión sin piloto ajustándose a muy baja cota al relieve del terreno.

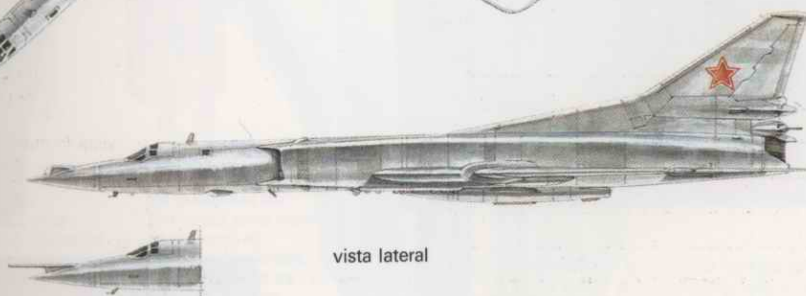
Es sobre este último tipo de arma sobre el que, al menos por parte americana, se tiene más confianza; en estos últimos años las fuerzas estadounidenses han estudiado incluso la posibilidad de transformar algunos modelos de aviones civiles —como el *B-747 Jumbo* de la Boeing— en bombardero portamisiles "de crucero".

En el panorama de los modernos bombarderos, el último modelo aparecido es el bisónico *Rockwell B-1*, del que las fuerzas estadounidenses recibieron los primeros ejemplares operativos durante el año 1984; quedando en el arsenal estadounidense el mencionado *General Dynamics F-111*, primer avión operativo con ala de geometría variable y primer bombardero (en la versión *FB-111*) de penetración a baja cota (está en estudio una versión "mejorada", dotada de aviónica más potente, de misiles "de crucero" y equipada con los motores del *B-1*).

La Unión Soviética tiene el *Tupolev Tu-26 Backfire*, que tanto llamó la atención



El bombardero *Backfire-B*, en la representación con las alas retraídas, alcanza el doble de la velocidad del sonido. En la vista lateral se observa el morro con la sonda para el abastecimiento en vuelo (que hubiera convertido al *Backfire* en bombardero intercontinental), antes de su desaparición, impuesta por las conversaciones SALT. La vista inferior muestra su capacidad de transporte exterior de armas.



en Occidente. Francia dispone del bombardero estratégico *Mirage IV* desde hace ya un buen número de años y Gran Bretaña todavía mantiene su confianza en el viejo *Vulcan*, lanzado a las primeras páginas de los periódicos con ocasión de la guerra anglo-argentina por la posesión del archipiélago de las Malvinas.

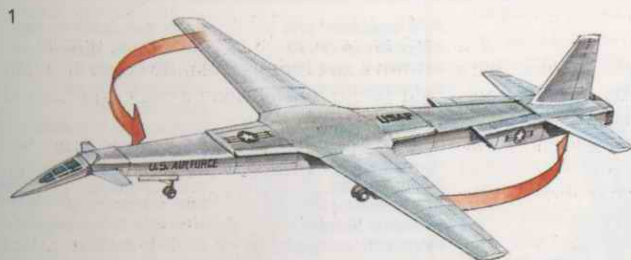
El futuro de estas armas es más incierto que nunca, unido como está al clima de las relaciones entre las dos máximas potencias. Pero, en cualquier caso, los grandes bombarderos capaces de llevar a cabo misiones estratégicas quedarán, por su elevado coste de investigación, contrucción y mantenimiento, como monopolio de las dos grandes superpotencias.

En la Unión Soviética se ha trabajado en una "copia fiel" del *B-1* norteamericano, como han revelado algunos satélites-espía estadounidenses, mientras las fuerzas aéreas estadounidenses parecen decididas a dirigir todo su esfuerzo sobre el "*Stealth*", el bombardero "invisible" (es decir, que refleja una señal de radar muy difícil de captar desde tierra), que debería dar a Estados Unidos, al menos sobre el papel, la superioridad absoluta en el campo de los bombarderos.

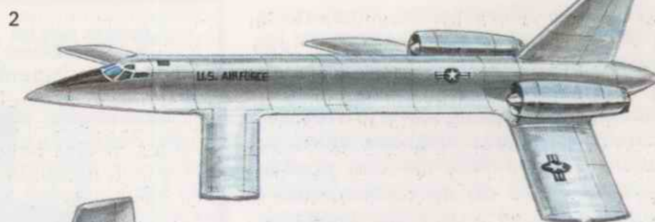
Véase **Aviación militar; Avión de intercepción; Cazabombardero**

Más de treinta años dura ya la "carrera" del *Boeing B-52 "Stratofortress"*, el bombardero norteamericano protagonista de la guerra aérea en Vietnam. Ha sobrevivido al progreso tecnológico de los últimos años gracias a que su amplitud interior y su elevada capacidad de carga le han permitido dotarse de refinados instrumentos de "contramedidas" electrónicas que le ofrecen un margen de defensa que otros modelos deben buscar en exigencias de velocidad. Además, su autonomía y capacidad de reabastecimiento en vuelo le permiten alcanzar sin escalas cualquier punto de la Tierra. Pensar en su sustitución no es cosa fácil. Abajo, algunas modalidades propuestas para el bombardero del futuro: 1) proyecto Boeing con ala en X para vuelos lento y veloz; 2) diedro negativo y solución "canard" para el modelo de la Rockwell International de bajo coste; 3) de la misma casa, un modelo capaz de alcanzar una velocidad varias veces superior a la del sonido con ala en X giratoria, en las dos posiciones —cerrada, para vuelo supersónico; abierta, para vuelo lento—; 4) también de la Rockwell, un "ala volante" con defensas por láser de gran potencia; 5) flecha muy aguda para el "delta" de la Rockwell; y 6) una modalidad de bajo consumo propuesta por la Boeing.

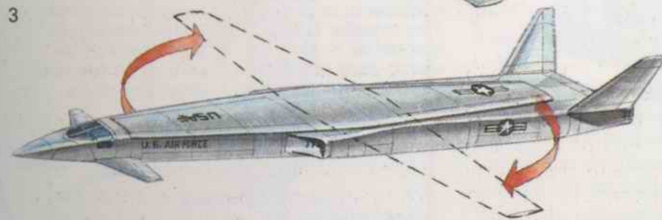
1



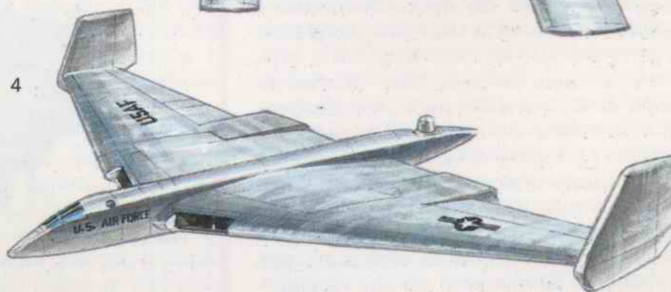
2



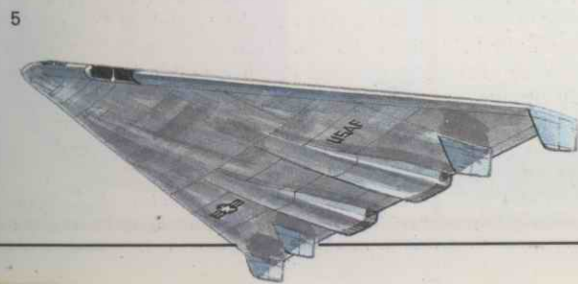
3



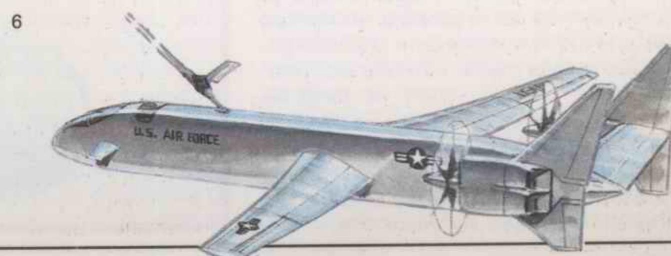
4



5



6



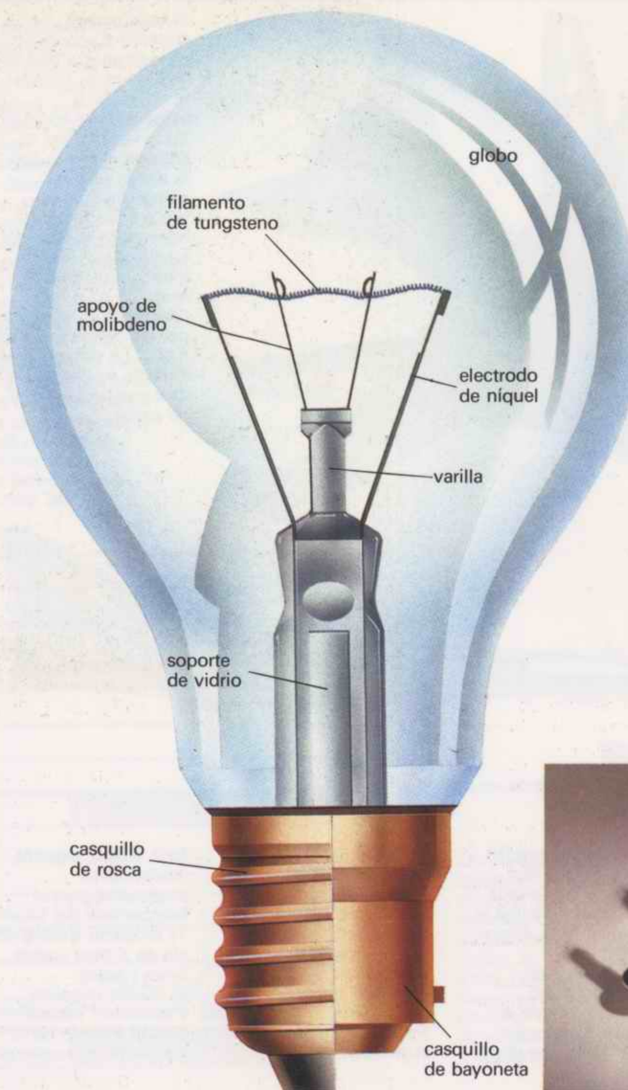
Bombilla

Pocas civilizaciones se han conformado con limitar sus actividades a las horas en que se puede ver con luz solar, por lo que han intentado encontrar algo que pudiera imitar al Sol. Actualmente existen pocas personas que no conozcan la moderna fuente de luz artificial: la lámpara con forma de pera en la que brilla un sol en miniatura, rodeado por su universo cerrado. De hecho, para producir luz, la lámpara se basa fundamentalmente en el mismo principio que el Sol: ambos emiten luz por incandescencia, fenómeno que se produce en cualquier material que se haya calentado a una temperatura lo suficientemente elevada. La bombilla común que se puede ver en cualquier parte recibe también el nombre de *lámpara de filamento incandescente*.

Funcionamiento de la lámpara de filamento incandescente El punto clave de la lámpara incandescente es el filamento, hilo metálico tendido entre las dos varillas situadas en el centro del globo. Cada vez que se pone en funcionamiento una bombilla, la corriente eléctrica circula desde el plato metálico del fondo del portalámparas a la base del bulbo. Por tanto atraviesa una de las varillas con forma de antena y alcanza el hilo metálico conocido como *filamento*. La corriente se propaga a lo largo del fino y delicado filamento, elevando su temperatura. La incandescencia del filamento está producida por el intenso calor provocado por el paso de la corriente a través de un material con una determinada resistencia. El circuito se cierra por la otra varilla con forma de antena, los hilos metálicos del casquillo y los hilos correspondientes del portalámparas.

Desarrollo de la luz por incandescencia Los estudios y experimentos necesarios para la consolidación y mejora de este invento consistente en obtener luz eléctrica por incandescencia se han centrado sobre todo en el filamento y su conservación. Los científicos e inventores produjeron lámparas incandescentes ya en 1840, pero la idea de una posible —desde el punto de vista económico— iluminación eléctrica para uso doméstico y comercial no fue realizable hasta que, hace poco más de cien años, Thomas A. Edison inventó una lámpara incandescente con filamento de carbón. El carbón del filamento tenía un punto de fusión más alto, y en consecuencia podía soportar temperaturas más elevadas que cualquier otra sustancia producida en serie. Cuanto mayor sea la temperatura alcanzada por un filamento de material de alta resistencia, mayor será la luminosidad emitida. La luminosidad de las bombillas modernas es debida a que el tungsteno utilizado para los filamentos puede alcanzar una temperatura de 3.380 °C antes de fundirse.

El globo de vidrio El globo es algo más que una cómoda empuñadura para enroscar la bombilla, ya que desempeña el importante papel de conservar el fila-

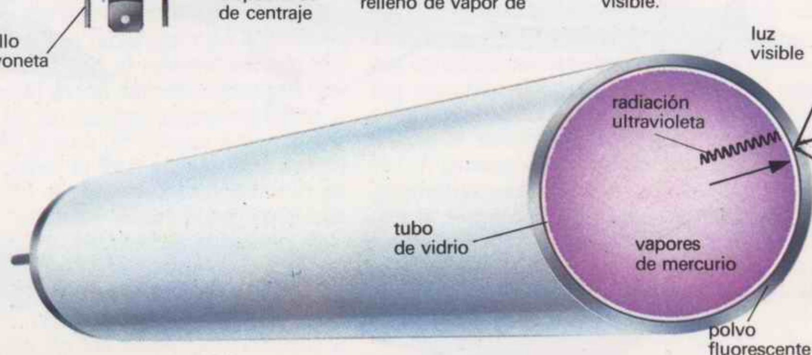




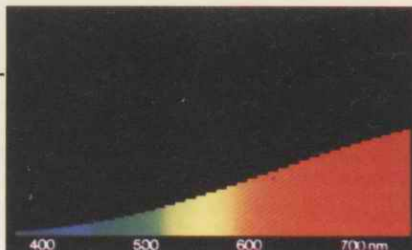


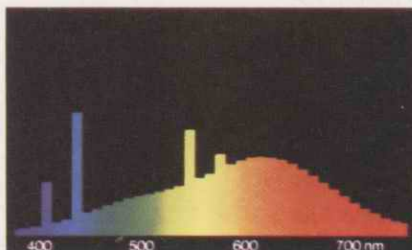


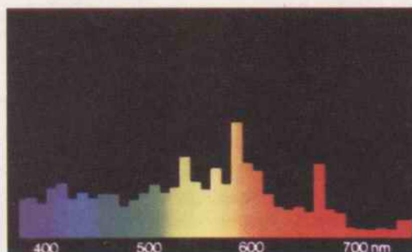
A la izquierda, una lámpara común de automóvil, que tiene el inconveniente de producir una cantidad de luz limitada cuando se la alimenta normalmente. A alta tensión (sobrealimentada) se quemaría porque el tungsteno se evapora y el filamento se reduce. Para remediar esto, la lámpara de cuarzo-yodo (a la derecha) tiene el globo relleno de vapor de yodo que, como se ve en la figura, captura los átomos de tungsteno que se evaporan y los devuelve al filamento, aumentando así su duración. Bajo estas líneas, el tubo fluorescente, en el que la descarga eléctrica produce radiación ultravioleta que alcanza la capa fluorescente de las paredes del tubo y se transforma en luz visible.











Página anterior: a la izquierda, una bombilla con filamento de tungsteno. Obsérvese la rosca con la que se sujeta la bombilla en el portalámparas: ha sido quizá la mejor idea de Edison, quien estaba convencido de que si no hubiera resuelto los aspectos prácticos para usar el nuevo medio de iluminación su invento habría caído en el vacío. En el recuadro pequeño, de la izquierda, distintos tipos de bombillas de filamento para luces de automóvil. Sobre estas líneas, distintos tipos de lámparas: A, de vapores de mercurio y sodio; B, con filamento de tungsteno largo; C, de vapores de mercurio a alta presión. A la derecha, curvas espectrales de emisión de tres tipos de lámparas: de arriba a abajo, de filamento de tungsteno, fluorescente blanca y de vapores metálicos.



mento, de forma que la bombilla tenga una duración mayor. Si el filamento permaneciera incandescente al aire libre, reaccionaría con el oxígeno y los otros gases presentes en la atmósfera. Al igual que cualquier sustancia que se quema, se consumiría rápidamente y sus componentes se transformarían en diversos gases. La ampolla de cristal protege el filamento de la atmósfera, manteniendo en algunos casos el vacío creado durante la fabricación. En otras ocasiones la ampolla se llena con algún gas inerte, como el argón, que no tiene ninguna reacción química con las demás sustancias. En este ambiente exento de reacciones, la "vida" del filamento será más prolongada.

Perfeccionamientos posteriores El globo con forma de pera utilizado normalmente está hecho de manera que el cristal esté a la distancia suficiente del calor producido por el filamento incandescente. Sin embargo muchos filamentos se pueden colocar en globos de cualquier forma o dimensión.

Si se observa el filamento de una bombilla, se puede apreciar que el hilo de tungsteno es una fina espiral que ha sido a su vez retorcida. Los primeros filamentos eran normalmente rectos, pero los científicos descubrieron que con la superficie tan expuesta los hilos se enfriaban demasiado fácilmente y se oscurecían. Los hilos en espiral retienen el calor entre sus mallas, manteniéndose más calientes y luminosos, y permiten una cantidad mayor de filamento incandescente en el reducido espacio de la ampolla.

Además de una luminosidad mayor, las bombillas modernas tienen una duración superior. La duración de los filamentos de tungsteno se ha aumentado añadiendo yodo y ciertos gases, conocidos con el nombre de *halógenos*, a los contenidos en la ampolla. El tungsteno que se evapora del filamento reacciona químicamente con el yodo y se vuelve a depositar en el filamento.

La innovación más espectacular aportada recientemente consiste en una lámpara que combina la luz tradicional de filamento con otro tipo de luz eléctrica, la luz de arco (que se forma entre las dos varillas al paso de una intensa corriente). Como la luz de arco no puede obtenerse instantáneamente, al principio se utilizan los filamentos. La lámpara tendrá por tanto la duración del filamento, que, el usarse tan poco, la mantendrá en buen estado durante períodos muy largos.

Otras lámparas La producción de luz a través del calentamiento de un hilo metálico tiene una eficacia limitada desde el punto de vista de la transformación de la energía eléctrica en luminosa. La mayor parte (hasta el 90%) se pierde en forma de calor. Métodos más eficaces son aquellos en los que átomos en estado gaseoso se excitan al ser golpeados por electrones y emiten luz. Este es, por ejemplo, el método que se usa en las lámparas comunes de sodio, formadas por un globo de cuarzo en el que se encuentra un gas noble, como el neón, por el que se puede hacer pasar una descarga eléctrica. El neón emite poca luz, pero se calienta. Si en el globo de cuarzo hay algo de sodio, se evapora y, al cabo de pocos minutos, sus átomos reciben el bombardeo de los electrones debido a la descarga eléctrica. Los átomos de sodio emiten una luz amarillo-anaranjada; con esta lámpara se consigue que un porcentaje mayor de energía eléctrica se transforme en energía luminosa.

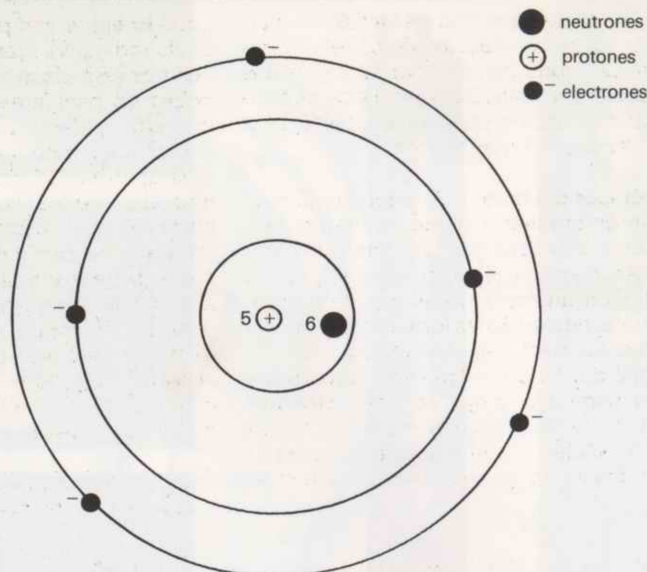
Una variante del tipo mencionado es la lámpara de vapor de mercurio. En el globo se coloca mercurio en vez de neón: la descarga eléctrica le hace emitir una luz blancoverdosa, muy rica en radiación ultravioleta. Por eso se construyen lámparas formadas por largos tubos de cristal con una pequeña cantidad de vapores de mercurio enrarecidos. Al producirse una descarga eléctrica, el mercurio emite luz visible y ultravioleta. Sobre las paredes internas de la lámpara está depositada una capa de sustancia fluorescente que transforma la radiación ultravioleta en luz visible, y, con ello, gran parte de la energía eléctrica en luminosa. Este es el principio de la lámpara fluorescente. Un inconveniente de este tipo de lámpara: es necesario alimentarla con una alta tensión al encenderla; una vez "cebada" la descarga, la tensión puede bajar. Para este fin son necesarios dispositivos especiales para transformar la tensión eléctrica. Actualmente se fabrican lámparas que tienen estos dispositivos incorporados y por tanto se pueden utilizar enroscándolas en el casquillo tradicional.

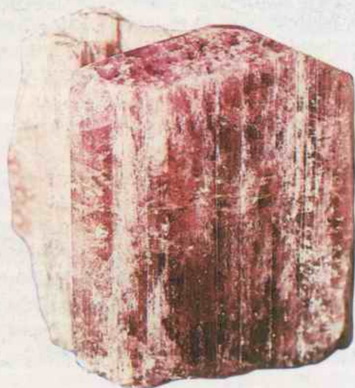
Véase **Lámpara de arco**

Boro

NOMBRE	BORO
SIMBOLO	B
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del mineral bórax, en árabe *buracq*
N. ATOMICO	5
PESO ATOMICO	10.811
ESTADO NATURAL	bastante difundido en la Naturaleza en forma de borosilicatos, boratos y ácido bórico
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	H. Davy (1807)
PRODUCCION	del anhídrido por reducción con magnesio; de los halógenos por reducción con hidrógeno
P. f. °C	2.300
P. eb. °C	2.550 (sublima)
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	2,34
PROPIEDADES Y APLICACIONES	es muy duro e inatacable por los ácidos; su anhídrido, ácido bórico y los boratos se utilizan en la industria del vidrio

El boro, cuya estructura electrónica se muestra a la derecha, es un típico metaloide cuyas características son semejantes a las del carbono y del silicio. El boro se presenta en dos isótopos con número de masa 10 (18,4 %) y 11 (81,6 %). (Los isótopos son átomos de un mismo elemento que difieren en el número de neutrones presente en el núcleo). El boro está bastante difundido en la Naturaleza combinado con otros elementos, formando boratos, ácido bórico y bórax. Es también un constituyente de las turmalinas (minerales silíceos): abajo, a la izquierda, un cristal.





PRINCIPALES ACIDOS Y SALES DEL BORO			
ACIDOS		SALES	
fórmula	nombre	fórmula	nombre
H_3BO_3	ácido bórico u ortobórico	Na_3BO_3	ortoborato de sodio
(HBO_2)	ácido metabórico	$NaBO_2$	metaborato de sodio
$(H_2B_4O_7)$	ácido tetrabórico	$Na_2B_4O_7 . 10H_2O$	bórax o tetraborato de sodio

Mientras la fórmula del ácido bórico corresponde a un compuesto real, los ácidos metabórico y tetrabórico —a los cuales corresponden las sales metaborato de sodio y tetraborato de sodio— son hipotéticos, pues no se ha conseguido aislarlos. Del ácido bórico (calentado a 600° C) se obtiene el anhídrido bórico, B_2O_3, con el que se preparan vidrios muy resistentes al fuego (el *Pyrex*) y usados para la cocina.

Prácticamente todo el mundo ha oído hablar del ácido bórico, ese polvo blanco que, mezclado con agua, prescribe invariablemente el médico de cabecera como colirio antiséptico ligero. El bórax, agente detergente cristalino de color blanco, es otra palabra de uso común doméstico. Ambos son compuestos químicos que contienen boro. El boro elemento puro (símbolo químico B) es una sustancia rara que no existe en estado libre en la Naturaleza, sino formando parte del ácido bórico y de los *boratos*. El boro está omnipresente sobre la Tierra en combinación con otros elementos químicos. Hay trazas de boro en todas las formas de vida vegetal. Si bien concentraciones elevadas de boro son tóxicas para las plantas, una concentración demasiado baja causa malformaciones en la vegetación y desarrollo insuficiente e incluso enfermedades de carencia tales como la "caries" seca de la madera y la "caries" del corazón de la madera. No se conoce la función exacta del boro como "vitamina", pero es un hecho que estas enfermedades se pueden curar suministrando al suelo sales de ácido bórico solubles en agua, los llamados *boratos*. Los compuestos del boro se encuentran también en las rocas de la corteza terrestre, usualmente como minerales llamados alumino-boratos. Enormes depósitos de bórax están situados en zonas áridas de la Tierra, en las que hubo alguna vez potentes erupciones volcánicas o mares interiores. Los mayores depósitos conocidos se encuentran en Asia Menor, en la Pampa argentina, en los desiertos de Nevada y de California. Los géyseres de Italia central constituyen una fuente natural de ácido bórico.

El boro fue aislado como elemento puro durante dos experimentos distintos llevados a cabo casi contemporáneamente por sir Humphrey Davy (1807) y por Joseph Gay-Lussac y Louis Jacques Thenard (1808).

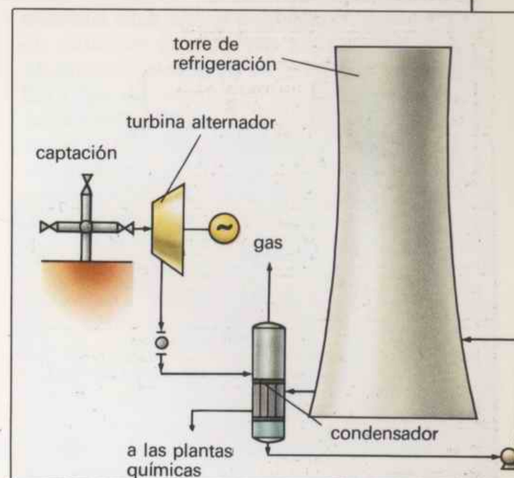
La estructura atómica del boro El átomo de boro tiene en común ciertas propiedades físicas con otros cuatro elementos: aluminio, galio, indio y talio. Juntamente con el boro, estos constituyen el "grupo del boro". El boro es el más ligero de esos elementos y el más simple como estructura, con cinco protones en su núcleo, dos electrones en el primer nivel y tres en el segundo nivel. (Independientemente de la dimensión, todos los elementos del "grupo del boro" poseen la característica de tener solamente tres electrones en su nivel más exterior.) Pero debido a que el boro tiene un radio particularmente pequeño, sus electrones son atraídos por el núcleo con particular fuerza. Por esta razón, sólo dos de los tres electrones más exteriores tienen tendencia a formar lazos con otros elementos. En su estado puro, el boro se presenta como un polvo color pardo o como un cristal pardo oscuro. Si se calienta en presencia de aire, el boro arde con una llama verde y se combina con el oxígeno para formar ácido bórico. El elemento reacciona vigorosamente también con un grupo de elementos conocidos con el nombre de *halógenos*: cloro, flúor, bromo, yodo y astato. También se combina con muchos metales para dar compuestos denominados *boruros*. Con sodio, oxígeno y moléculas de agua forma el bórax.

El compuesto de boro más conocido, el bórax, es ligeramente alcalino en solución acuosa y esto explica su utilización doméstica en los jabones y en los desendurecedores de agua. Sin embargo algunas características peculiares del boro lo vuelven cada día más precioso en la tecnología espacial y en la Medicina moderna. Su baja densidad (es el 15% más ligero que un mismo volumen de aluminio), su gran resistencia al calor (su punto de fusión es 2.300 °C) y su elevadísima resis-

tencia a la tracción han permitido su utilización en la construcción de cohetes y misiles. En combinación con compuestos epoxídicos y materiales plásticos, el boro se utiliza para obtener materiales ligeros más resistentes que el acero.

Isótopos del boro Aunque los átomos de un determinado elemento sean químicamente idénticos, pueden tener una masa ligeramente distinta uno de otro porque contienen un distinto número de neutrones en el núcleo. Estas formas distintas del mismo elemento se llaman *isótopos*. Un isótopo del boro, denominado *boro-10*, tiene la particular propiedad de "capturar" otros neutrones introduciéndolos en su propio núcleo. Cada vez que un neutrón adicional es absorbido de esta manera, el boro-10 emite una partícula alfa (una partícula radiactiva idéntica al núcleo del helio). Por esta razón el boro-10 se inyecta a veces en pacientes que padecen de tumor en el cerebro. El tumor es de esta manera irradiado por un haz de neutrones de baja energía. El boro-10 penetra en el tumor, absorbe los neutrones y emite partículas alfa que destruyen los tejidos. Debido a que las partículas recorren un tramo corto, destruyen solamente el tumor y dejan inalterados los tejidos sanos que le rodean. Por su característica de absorber los neutrones, el boro-10 se utiliza también en la fabricación de pantallas impenetrables a los neutrones y en las barras de control de los reactores nucleares.

Véase **Enlace químico y valencia; Halógenos**





agua en las hendiduras
emisión natural
pozos de vapor
ROCA SEMIPERMEABLE
ROCA POROSA
ROCA CRISTALINA
MAGMA

Una curiosa y singular fuente de boro, bajo la forma de ácido bórico (que se presenta, foto superior, en escamas blancas), son los géyseres boracíferos, auténticos chorros de vapor de agua mezclado con otros gases que contienen disueltas pequeñas cantidades de ácido bórico (tabla de abajo). Los géyseres boracíferos son columnas de vapor saliendo a temperaturas elevadas (alrededor de 200 °C) y alta presión (alrededor de 5 atmósferas), y que por esta razón se prestan a ser utilizadas para producir electricidad. El vapor condensado se envía a la planta química para separar el ácido bórico y los otros componentes. Los géyseres boracíferos —utilizados como fuentes de energía geotérmica en Italia, Japón, EE UU, URSS, Islandia y Nueva Zelanda— se originan a consecuencia del contacto entre el agua que penetra en el subsuelo y las rocas calentadoras de la corteza terrestre. Estas reciben el calor, por convección, del magma interior. El agua, debido al calentamiento, se expansiona y asciende a lo largo de conductos naturales.

Composición media de 1 kg de gas de un géyser

vapor de agua	955,52 g	nitrógeno	0,16 g
dióxido de carbono	42,65 g	ácido bórico	0,30 g
gases combustibles (CH_4, H_2)	0,19 g	amoníaco	0,30 g
ácido sulfhídrico	0,88 g	gases raros (He, Ar, Ne)	1 cm^3

Bosque

El término *bosque* no ha sido siempre usado para designar el conjunto de árboles que recubre un área determinada. Por ejemplo, en la Inglaterra del siglo VIII el término se utilizaba refiriéndose exclusivamente a los bosques reales, donde sólo el rey tenía derecho de caza. Durante bastantes siglos tal connotación se mantuvo antes de que el término llegase a adquirir el significado que hoy le damos.

Los bosques no son sólo grupos de árboles; sino que cada uno de ellos constituye un ecosistema, es decir, el conjunto de todas las plantas y animales, hongos y bacterias que viven en una determinada zona, así como de los factores fisicoquímicos de la misma. Todo ello forma una unidad que se rige por la interacción de todos los elementos y de sus funciones. Los ecosistemas forestales tienen un papel muy importante en la protección y en la promoción de la vida humana sobre la Tierra. Ya que sus raíces, que están estrechamente entrelazadas, conservan la humedad y mantienen el suelo como una sólida pieza, los bosques impiden que una buena parte de la tierra se pierda a causa de la erosión. Esta humedad conservada es usada a menudo como principal fuente de agua por parte de los hombres que viven en las zonas circundantes.

Tipos de bosques Los árboles del mundo pueden dividirse en tres vastas categorías: las coníferas, los árboles de hojas planas (sean templadas o tropicales) y las monocotiledóneas.

Las *coníferas* son las más importantes entre las gimnospermas, plantas cuyas semillas están desnudas y, en este caso, expuestas sobre las escamas de las piñas. En su mayoría son siempre verdes, es decir, de hoja perenne, siendo estas hojas pequeñas y aciculares (en forma de aguja). Son resistentes y capaces de sobrevivir en condiciones climatológicas desfavorables.

Los árboles principales de los bosques de coníferas septentrionales son el pino septentrional, las piceas, los abetos plateados y Douglas, los abetos canadienses y los alerces: Estas coníferas proporcionan la mayor parte de la madera y de la pulpa de madera usadas industrial y comercialmente, sobre todo para la construcción y para la fabricación del papel. Estos bosques de coníferas se extienden por la zona boreal de los continentes: por América del Norte, por Europa septentrional, y por Asia desde Siberia hasta el norte de China y Japón. Dicho tipo de bosque se establece también a determinadas alturas en las cadenas montañosas situadas en zonas templadas (Montañas Rocosas, Apalaches, Alpes, Urales, Himalaya). Los bosques de coníferas meridionales se extienden por el sureste de América del Norte y por América del Sur, por las zonas mediterráneas de Europa y Africa, por Asia Menor y por el sur de Japón, áreas en las cuales los árboles más comunes son los pinos y los cipreses, junto con los cedros y las secuoyas.

Los *árboles de hojas planas* se subdividen en tres grupos: templado-caduco, tropical perennifolio y subtropical perennifolio. Los bosques templado-caducos tienen espesas frondas en primavera y verano y pierden sus hojas con la llegada del otoño. El roble, el haya, el fresno, el abedul y el olmo son todos típicos árboles de hoja caduca de clima templado, hallándose en América septentrional y meridional, y en el norte y noroeste de Europa y en Asia.

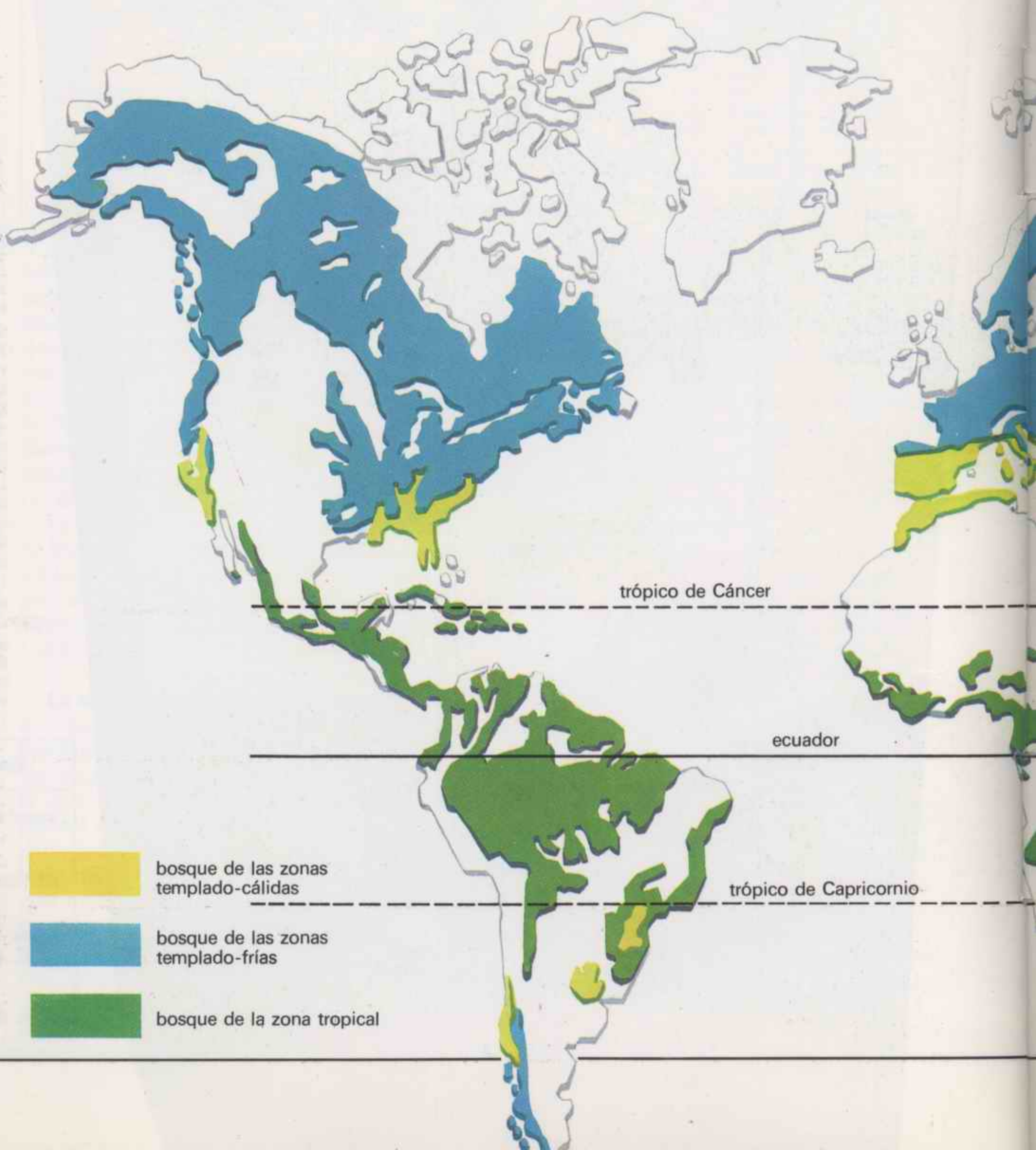
Los bosques perennifolios tropicales, que necesitan gran cantidad de precipitaciones, se encuentran en Africa central y occidental, en Asia meridional, en Australia y en América central y meridional. Entre las maderas tropicales, el tek, el mogano, la caoba y el palosanto son muy apreciadas para la fabricación de muebles, y la balsa, una madera ligerísima, tiene múltiples usos, especialmente en la construcción de embarcaciones y aeroplanos.

Los bosques perennifolios subtropicales están adaptados a veranos secos y calurosos e inviernos templados y húmedos, y se encuentran en las orillas del Mediterráneo, en California, en la zona norte de Méjico, en Asia, en el norte de Africa y en América del Sur. Tienen hojas coriáceas lignificadas y revestidas de cera para evitar la pérdida del agua por evaporación. Plantas de este tipo son las encinas, el madroño, el eucalipto, el alcornoque.

Las *monocotiledóneas*, así llamadas porque sus semillas están formadas por un solo cotiledón (hojita embrionaria), están representadas principalmente por la palmera y el bambú. Las palmeras son conocidas por los cocos, los dátiles y otros productos, mientras que el bambú se utiliza para las construcciones, y sus brotes jóvenes constituyen además una verdura muy apreciada en los países orientales.

Areas forestales Las zonas forestales ocupan casi un tercio de la superficie terrestre, pero su distribución no es uniforme en los distintos continentes: en América del Sur ocupan un 51% del territorio; en América del Norte y Central, el 34%; en la URSS (europea y asiática), el 39%; en el resto de Europa, el 28%; en Asia, el 25%; en Africa, el 24%, y en Oceanía, el 6%.

Existen vastas zonas de la Tierra en las que no hay bosques, como los desiertos del norte de Africa, de algunas zonas de Oriente Medio, de China y de Asia central. Muchos países sin bosques están den-



samente poblados, por lo que han de importar toda la madera que consumen; el transporte de la misma y de sus derivados hasta ellos contituye una grave dificultad.

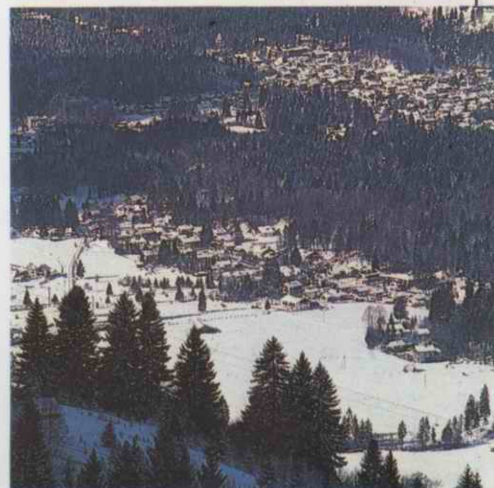
Poco más de la mitad del área forestal mundial produce madera para uso comercial. El resto no es productivo, ya que los árboles no son comercialmente útiles, no tienen la edad adecuada o no pueden ser talados porque forman parte de parques nacionales o de reservas.

Areas forestales en España En lo que se refiere a España, los bosques ocupan sólo el 23% de la superficie (se incluye el monte adehesado y el monte bajo). Pero este porcentaje resulta bastante engañoso, ya que buena parte de la superficie arbolada la ocupan las repoblaciones a base de especies de crecimiento rápido: coníferas (generalmente traídas de fuera de la Península) y eucaliptos, que se desarrollan sobre suelos forestales ricos en humus procedentes de desaparecidos bosques caducifolios. Estas repoblaciones suelen ser plantaciones a base de una sola especie, y están muy lejos de constituir ecosistemas estables, como ha quedado demostrado por su vulnerabilidad ante los incendios, plagas, etc. Con ellas se produce en los suelos una auténtica (y rápida) "fuga de nutrientes" —en dirección a las industrias papeleras— que no son repuestos, lo que supone un notable empobrecimiento cualitativo. A pesar del enorme número de hectáreas repobladas, la superficie arbolada en España ha descendido en el período 1947-75 en más de 900.000 ha, a costa sobre todo del bosque caducifolio y esclerófilo, que son los bosques naturales más importantes de la Península, acordes con su clima.

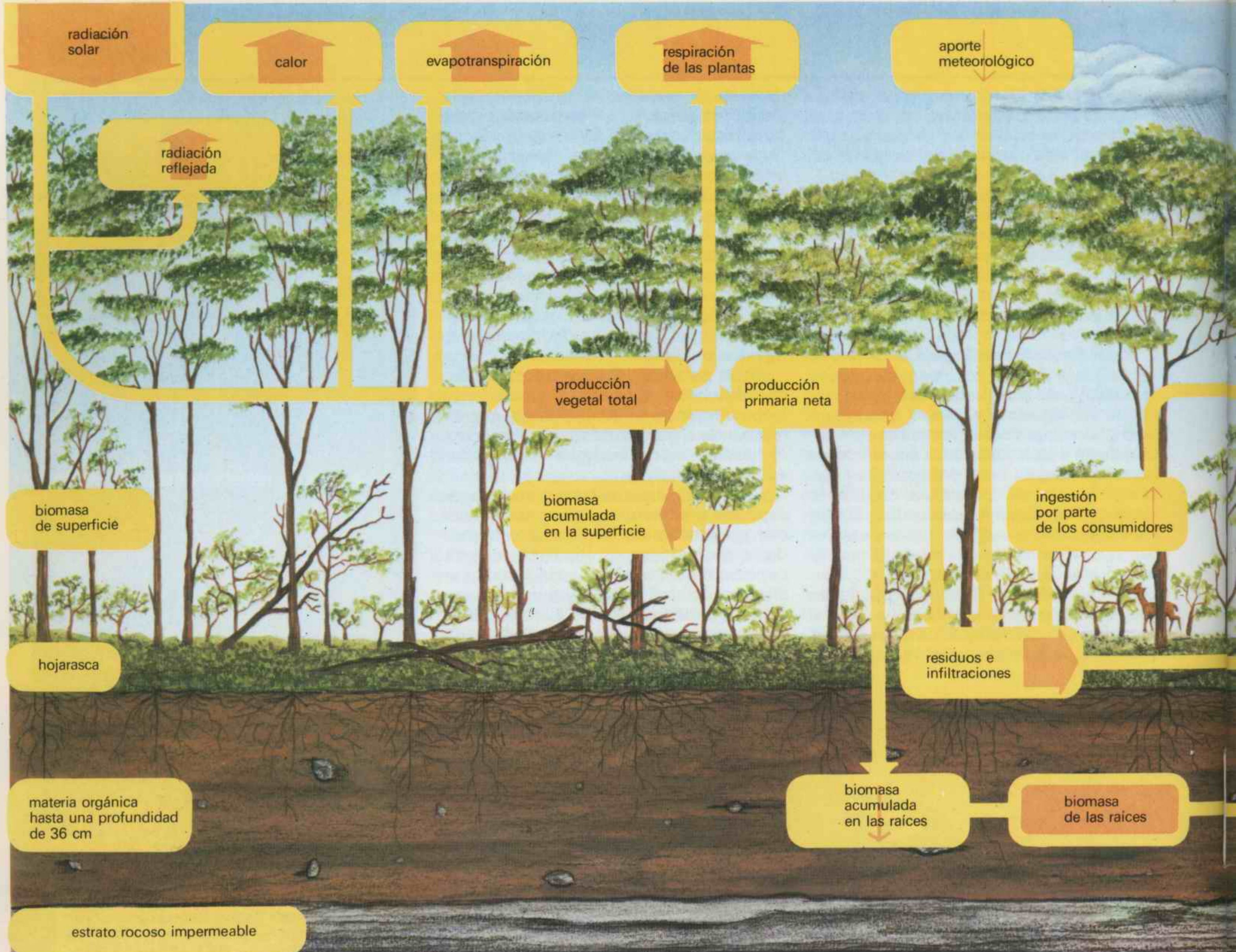
En la península Iberica se distinguen dos regiones forestales: la eurosiberiana y la mediterránea. La eurosiberiana, que corresponde a gran parte de Europa, ocupa el norte de la Península, y se suele dividir en tres dominios:

Dominio submediterráneo, mezcla de especies mediterráneas y eurosiberianas, con predominio de las últimas; comprende la vertiente sur de los Pirineos, a excepción de la parte más occidental, y en ella predominan los bosques caducifolios, como los robledales de *Quercus pubescens*, melojo (*Q. pyrenaica*) y roble albar (*Q. petraea*).





En estas páginas, un mapa climático fisonómico que ilustra los principales tipos de vegetación en los distintos climas. La distinta fisonomía de los bosques es una de las respuestas a las condiciones ambientales. Ello se manifiesta también a nivel del tipo y forma de las hojas, condicionados a la disposición de agua en el medio ambiente. Por ese motivo, en las zonas con un clima muy húmedo, las hojas son grandes (plantas de hojas anchas), de modo que ofrezcan mayor superficie para la transpiración. En el clima mediterráneo, donde las máximas temperaturas coinciden con la estación seca, las plantas tienen hojas duras coriáceas, con los estomas cubiertos por pelos para limitar la transpiración. En las zonas donde las altas temperaturas están unidas a una sequía mayor, las plantas pasan de tener hojas perennes a tener hojas caducas para reducir al máximo la pérdida de agua. Donde el clima es húmedo pero con inviernos muy fríos, predominan igualmente las especies de hoja caduca, que pierden las hojas en invierno al helarse el agua y no poder circular por la planta.
En el ámbito del mismo clima pueden existir plantas perennifolias y caducifolias: en general, las caducifolias ocupan zonas relativamente más secas o más frías que las perennifolias, y, además, entran en juego adaptaciones a nivel de cada especie, seleccionadas en el curso del tiempo por los factores ambientales según su capaciad de resistencia.
En las fotos superiores, una formación de abeto rojo y tala de un bosque mixto de coníferas: de este tipo de árboles proviene la mayor parte de la madera comercial.



Cada bosque constituye un ambiente unitario, con continuas interrelaciones entre sus componentes vegetal, animal, climático y edáfico. Una fracción de la radiación solar (esquema de la parte inferior derecha, página siguiente) es transformada por las plantas verdes en sustancia orgánica. Esta puede ser consumida por los herbívoros o, como tejido muerto, por los organismos detrívoros, y por los descomponedores (bacterias y hongos). Herbívoros y animales detrívoros constituyen la fuente alimenticia para los carnívoros. La materia orgánica asimilada no utilizada para el crecimiento se "quema" en la respiración. Ya que la energía producida se pierde en forma de calor, el ecosistema requiere un continuo aporte de energía solar. Arriba, el flujo energético de un "bosque-tipo": se ve cómo la energía se

Dominio atlántico-europeo, que ocupa toda la cornisa cantábrica y Galicia, así como la parte occidental de la vertiente sur de los Pirineos, donde se encuentra el haya, el carvallo (*Quercus robur*) y muchos árboles caducifolios: castaños, abedules, fresnos, etcétera.

Dominio alpino, propio de la alta montaña; en él no hay bosques, sino arbustos como brezos y arándanos.

La región mediterránea ocupa el resto de la Península, y sus límites coinciden bastante bien con el área de cultivo del olivo. El bosque típico de esta región es el esclerófilo, y la especie arbórea más importante, la encina (*Quercus ilex*); en la zona suroccidental de la Península se encuentra el área de distribución del alcornoque (*Quercus suber*), cuya población está en franca regresión. También el bosque esclerófilo a base de encinas ha desaparecido en su mayor parte para dar lugar a campos de labranza, baldíos y dehesas. El melojo o roble negral (*Quercus pyrenaica*), que también se puede encontrar en Galicia y puntos del Pirineo y cornisa cantábrica, aparece en los montes del interior.

Los primeros mapas en los que aparecen datos forestales de España datan de los siglos XVI y XVII. Los primeros en los que aparecen pormenores con datos acerca de las distintas especies de árboles son los de Joseph Antonio Espelius (segunda mitad del s. XVIII), referidos a distintas zonas de Andalucía. En 1966 se ha trazado un completo mapa forestal de España a escala 1:400.000.

Función de los bosques Los bosques actúan como intermediarios entre la superficie de la tierra y las condiciones climáticas, sobre las que también influyen reduciendo los vientos, moderando la temperatura atmosférica y aumentando el grado de humedad. Los árboles son una importante protección contra la erosión del terreno, un problema que ha llegado a ser muy importante en la agricultura moderna. La cobertura forestal amortigua el impacto de la lluvia; las hojas, las ramas caídas y los arbustos del sotobosque ayudan al suelo a mantener la humedad. Las raíces de los árboles tienen también la función de sujetar el suelo. Además, los bosques de hojas caducas enriquecen particularmente el terreno de materia orgánica, dado que las hojas caídas se transforman en compuestos húmicos que aumentan la fertilidad, mejorando la estructura del suelo e impidiendo la desaparición de sustancias nutritivas. Cuando las pendientes se hallan desnudas, de forma que no poseen ya el sistema radical de los árboles, el agua de lluvia arrastra rápidamente la capa superficial del suelo formando profundos canales de desagüe. El agua que fluye desde las colinas provoca inundaciones en los valles erosionando la

respiración de los consumidores herbívoros

respiración de los consumidores detrívoros

aporte meteorológico

respiración de los organismos que viven en el arroyo

caída de los detritus

red alimenticia de los herbívoros

mortalidad

excreción

red alimenticia de los animales detríticos

acumulación en el suelo del bosque

biomasa viviente en el arroyo

descomposición

exudación y detritus de las raíces

acumulación en el suelo

depósito de detritus

transferencia al exterior

reparte y se controla (el espesor de las flechas que indican las entradas y salidas es proporcional a la energía misma). Las entradas incluyen la fracción de radiación solar transformada en materia orgánica y la energía de la materia orgánica transportada por las lluvias. Las salidas están constituidas por la fracción de energía solar reflejada y perdida como calor, por la energía consumida en la evaporación, por aquélla incorporada en la materia orgánica transportada fuera del ecosistema, así como por la energía perdida con la respiración.

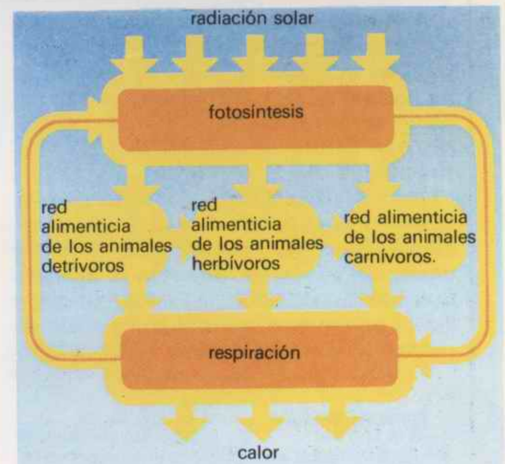
capa superficial del terreno, que es la más rica en sustancias nutritivas para la vida vegetal.

La mayor importancia económica de los bosques desde el punto de vista industrial reside, obviamente, en la madera, que tiene múltiples aplicaciones: en la construcción, como combustible, para la fabricación de papel, etc. Otro tipo de aprovechamiento industrial lo constituye: la esencia de trementina, que se obtiene efectuando profundas incisiones en las coníferas subtropicales (eso acaba por matar a los árboles, pero la madera puede ser aún utilizada) y que se emplea en Medicina como antiséptico; de ella se obtienen la pez y el aguarrás. Otros productos son el caucho, que se extrae principalmente del látex del jebe (*Hevea brasiliensis*); el corcho, que en realidad es la parte externa de la corteza del alcornoque, y los taninos, que se obtienen de muchas especies y se usan para el curtido de pieles.

Además, los bosques pueden proporcionar gran diversidad de productos alimenticios, especialmente los constituidos por las frutas, como los frutos secos que se recogen en otoño de distintas especies de árboles (nueces, avellanas, bellotas, castañas, etc.), o por productos como por ejemplo el maná, sustancia azucarada que se obtiene practicando incisiones en el fresno.

Uso público y privado de los bosques Una parte de los más importantes bosques del mundo es propiedad estatal. En España los montes del Estado representan el 4,4,% de la superficie forestal nacional, de la que sólo una parte está ocupada por bosques propiamente dichos; los montes de propiedad municipal representan el 32%, y el resto son privados.

En los últimos tiempos las empresas comerciales, tanto nacionales como internacionales, han hecho uso del reconocimiento a distancia, efectuado desde satélites, para seguir con el máximo cuidado el desarrollo de amplias áreas forestales. Esta vigilancia puede "cuidar" el bosque y observar la transformación sufrida por ciertos tipos de bosque en diferentes condiciones de clima, de estación y de factores ambientales.



Véase **Biomasa; Clorofila; Silvicultura; Vegetación, mapa de**

Botánica

En la Naturaleza se pueden encontrar dos grandes categorías de seres vivos. A la primera pertenecen los organismos que consiguen sobrevivir aprovechando los recursos del ambiente inanimado (luz solar, agua, sales minerales disueltas en el terreno y sustancias gaseosas contenidas en la atmósfera); a la segunda pertenecen, en cambio, aquellos seres que para vivir tienen que recurrir a otros organismos vivientes. Los organismos de la primera categoría se llaman *autótrofos* (que en griego significa "se alimentan por sí mismos"); los segundos, *heterótrofos* ("se alimentan a expensas de otros"). Dentro de los organismos superiores, los organismos autótrofos se incluyen en el Reino Vegetal y los heterótrofos en el Reino Animal. Los otros reinos del mundo vivo formados por procariotas, protistas y hongos, exceptuando estos últimos, incluyen organismos de los dos tipos (autótrofos y heterótrofos). Dentro de los protistas se encuentran las algas, antiguamente incluidas en el Reino Vegetal precisamente por su metabolismo autótrofo.

El hombre está obligado a reconocer —aunque su punto de vista está condicionado por el hecho de ser él mismo un heterótrofo— que los vegetales son más "indispensables" que los animales.

Sin animales las plantas, aunque no todas, podrían sobrevivir, mientras que si no existiesen las plantas todos los animales desaparecerían, es más ¡no habrían siquiera aparecido sobre nuestro planeta!

He aquí un motivo muy valioso por el que la *Botánica*, es decir, la ciencia que se ocupa del estudio de los organismos vegetales, es una disciplina científica importantísima.

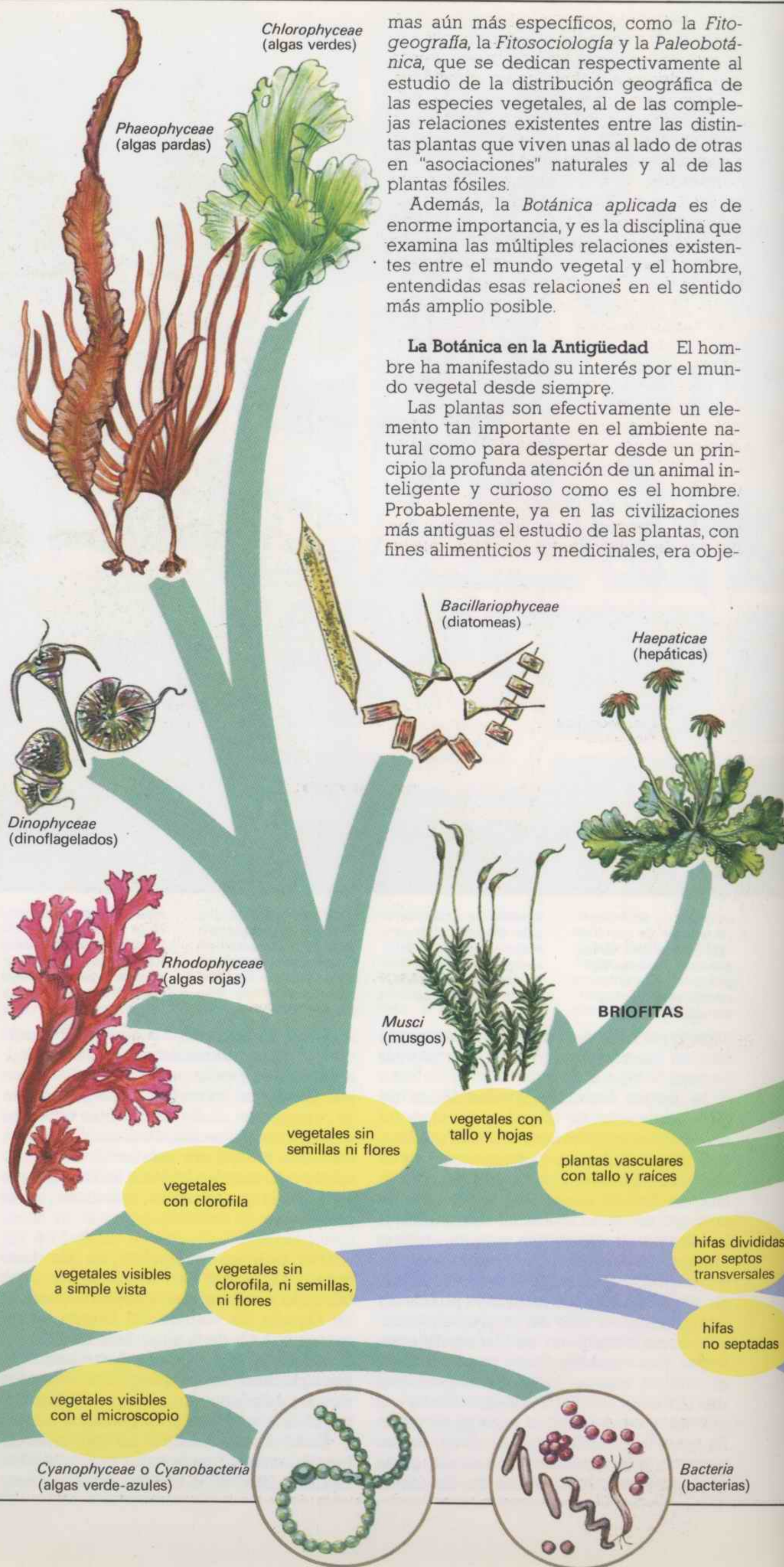
Botánica y botánicas La Botánica es la ciencia que tiene por objeto el estudio de los vegetales. Sin embargo, hay diversas maneras de realizar este estudio, enfrentándose al vastísimo y multiforme mundo de las plantas con ópticas y metodologías distintas, de modo que se puede considerar que existe una diversidad de "botánicas".

Al lado de la *Botánica general*, que estudia principalmente el tipo de organización, la fisiología y el ciclo vital de los organismos vegetales, tenemos la *Botánica sistemática*, dedicada a la descripción y clasificación de las distintas especies de plantas, y otras disciplinas que tratan temas aún más específicos, como la *Fitogeografía*, la *Fitosociología* y la *Paleobotánica*, que se dedican respectivamente al estudio de la distribución geográfica de las especies vegetales, al de las complejas relaciones existentes entre las distintas plantas que viven unas al lado de otras en "asociaciones" naturales y al de las plantas fósiles.

Además, la *Botánica aplicada* es de enorme importancia, y es la disciplina que examina las múltiples relaciones existentes entre el mundo vegetal y el hombre, entendidas esas relaciones en el sentido más amplio posible.

La Botánica en la Antigüedad El hombre ha manifestado su interés por el mundo vegetal desde siempre.

Las plantas son efectivamente un elemento tan importante en el ambiente natural como para despertar desde un principio la profunda atención de un animal inteligente y curioso como es el hombre. Probablemente, ya en las civilizaciones más antiguas el estudio de las plantas, con fines alimenticios y medicinales, era obje-

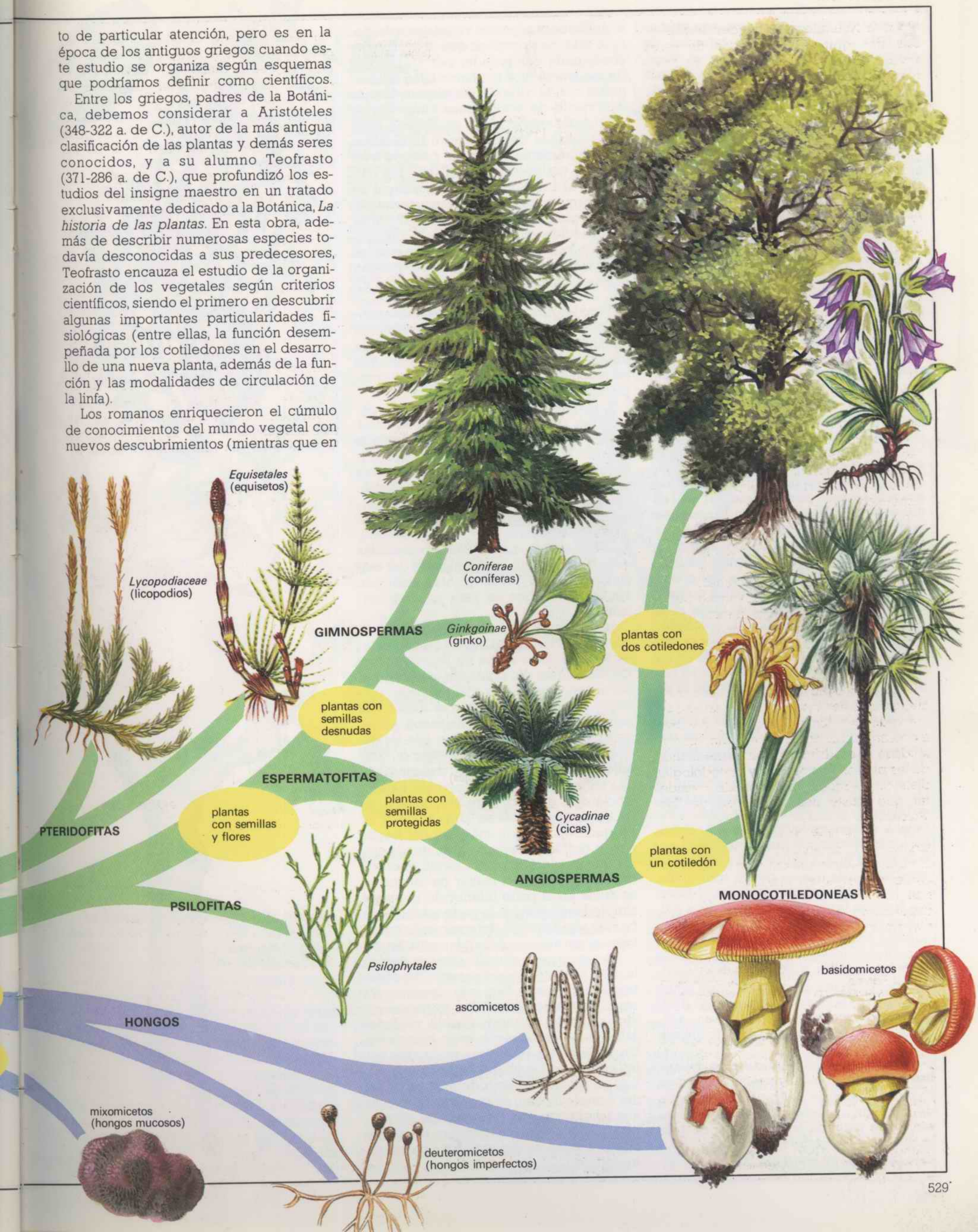


Ya desde su aparición sobre la Tierra el hombre se interesó por las plantas que, de diferentes formas, eran indispensables para sus necesidades vitales. Aprendió a reconocer las plantas comestibles, las venenosas, las medicinales y, en este último caso, las más idóneas para combatir las distintas enfermedades. En periodos sucesivos, el estudio de las plantas fue considerado como un complemento de la agricultura, después se ligó a la ciencia médica y solamente en el siglo XVI se inició un estudio sistemático que convirtió a la Botánica en una ciencia autónoma. En estas páginas, un esquema evolutivo de las plantas en sus grandes agrupaciones vegetales.

to de particular atención, pero es en la época de los antiguos griegos cuando este estudio se organiza según esquemas que podríamos definir como científicos.

Entre los griegos, padres de la Botánica, debemos considerar a Aristóteles (348-322 a. de C.), autor de la más antigua clasificación de las plantas y demás seres conocidos, y a su alumno Teofrasto (371-286 a. de C.), que profundizó los estudios del insigne maestro en un tratado exclusivamente dedicado a la Botánica, *La historia de las plantas*. En esta obra, además de describir numerosas especies todavía desconocidas a sus predecesores, Teofrasto encauza el estudio de la organización de los vegetales según criterios científicos, siendo el primero en descubrir algunas importantes particularidades fisiológicas (entre ellas, la función desempeñada por los cotiledones en el desarrollo de una nueva planta, además de la función y las modalidades de circulación de la linfa).

Los romanos enriquecieron el cúmulo de conocimientos del mundo vegetal con nuevos descubrimientos (mientras que en



la época de Teofrasto no estaban descritas más de cuatrocientas especies de plantas, parece ser que Plinio el Viejo, cuatro siglos más tarde, conocía ya más de mil); no obstante, todos fueron decididamente inferiores al maestro —Aristóteles— en cuanto a rigor científico se refiere.

Decadencia y renacimiento de los estudios botánicos Como sucedió en las demás actividades culturales, los largos siglos que siguieron a la caída del Imperio Romano señalaron un período de profunda decadencia para los estudios botánicos. Un tímido despertar del interés por el mundo vegetal se registró al final del Medievo, pero también en este período los estudios quedaron estrictamente limitados al campo de las aplicaciones: efectivamente, los intereses de los herbolarios medievales estaban prácticamente limitados a las propiedades medicinales, verdaderas o presuntas, de las distintas especies vegetales.

Sólo en el Renacimiento se dará un decisivo impulso a los estudios botánicos: la descripción de la especie de planta se valdrá de un instrumento nuevo y precioso, los herbolarios figurativos (en los que los ejemplares están dibujados con gran exactitud y precisión de detalles), y el estudio de la anatomía y de la fisiología se reemprenderá con renovado vigor después de casi 2.000 años de abandono.

La figura de mayor talla entre los botánicos del Renacimiento es la del aretino Andrea Cesalpino (1519-1603), a quien el mismo Linneo, dos siglos más tarde, reconocerá como maestro. Son de Cesalpino, por ejemplo, la primera propuesta de una clasificación de las plantas basada en características bien precisas del fruto y una primera descripción "moderna" de la estructura de la flor.

Con la apertura de los jardines botánicos y con la institución de cátedras universitarias de Botánica, la ciencia dedicada al estudio de las plantas recibe en el siglo XVI su consagración oficial. La obra de Linneo (1707-1778), el gran naturalista sueco fundador de la moderna sistemática vegetal y animal, no habría sido concebible sin los continuos progresos realizados por la Botánica en los siglos XVI y XVII, y no constituye más que su genial coronación. Con la más célebre de sus obras, el *Systema Naturae* (aparecida en sucesivas ediciones entre 1735 y 1759), las nociones adquiridas hasta entonces se condensan en un conjunto orgánico, que elimina muchas inexactitudes (las 30.000 especies descritas por los diversos botánicos hasta aquella fecha se reducen a poco más de 8.500 especies diferentes) y consituye una sólida base para las investigaciones futuras.

Nuevas conquistas grandes y pequeñas El período postlinneano, aunque ya hayan pasado más de dos siglos y medio de la primera edición del *Systema Naturae*, forma parte de la historia reciente de la Botánica. Los progresos registrados en este período son enormes. Se han descrito numerosas especies vegetales más, pero lo más importante es que el hombre ha conseguido comprender por fin muchos de los fenómenos fundamentales relacionados con la vida de las plantas. El más importante de estos descubrimientos es probablemente el de la *fotosíntesis*, base de la entrada de energía en la biosfera.

Efectivamente, gracias al proceso fotosintético realizado por las plantas por medio de la clorofila la materia mineral se transforma en materia viva, aprovechando la energía producida por las reacciones termonucleares del Sol, y a esa producción de materia viviente se debe que los animales, entre ellos el hombre, puedan obtener los alimentos necesarios para vivir.

Pero los progresos de la Botánica en estos dos últimos siglos se refieren también a infinidad de otros procesos, algunos de los cuales parecen muy simples, pero que en realidad esconden problemas de complejidad notable.

Cualquier botánico del siglo XVIII, por ejemplo, sabía muy bien que las semillas, independientemente de la posición que adopten al caer al suelo, germinan produciendo una pequeña raíz que se adentra en el terreno y un paqueño tallo que emerge; pero ni siquiera Linneo habría estado en condiciones de explicar este sencillísimo fenómeno.

Hoy sabemos que las células colocadas en la base del tallo (responsables del crecimiento de la joven planta) absorben agua y se alargan así para poderla contener.

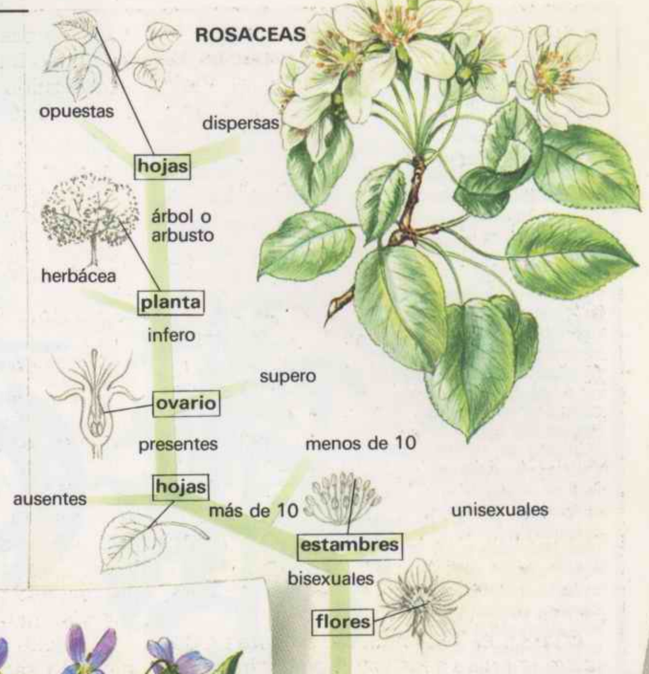
¿Cuál es la relación entre ese crecimiento a lo largo y el hecho de que el tallo empuje hacia arriba en busca de luz? El crecimiento del botón, en la oscuridad del terreno, tiene lugar sólo en su parte inferior. Aunque pueda parecer extraño, la parte superior del botón no crece o, mejor dicho, crece muy poco, así que las células, alargándose en la parte inferior, "empujan" el tallo hacia arriba, describiendo una curva de cara a la superficie. La sustancia que provoca este crecimiento en las células vegetales se llama *auxina* y se produce en la parte más alta del botón, desde donde se esparce a las otras células que se alargan produciendo el crecimiento. La cantidad mayor de auxina se acumula en la parte inferior de la planta, simplemente porque la parte inferior crece más rápidamente, determinando que el tallo se curve y se extienda hacia arriba.

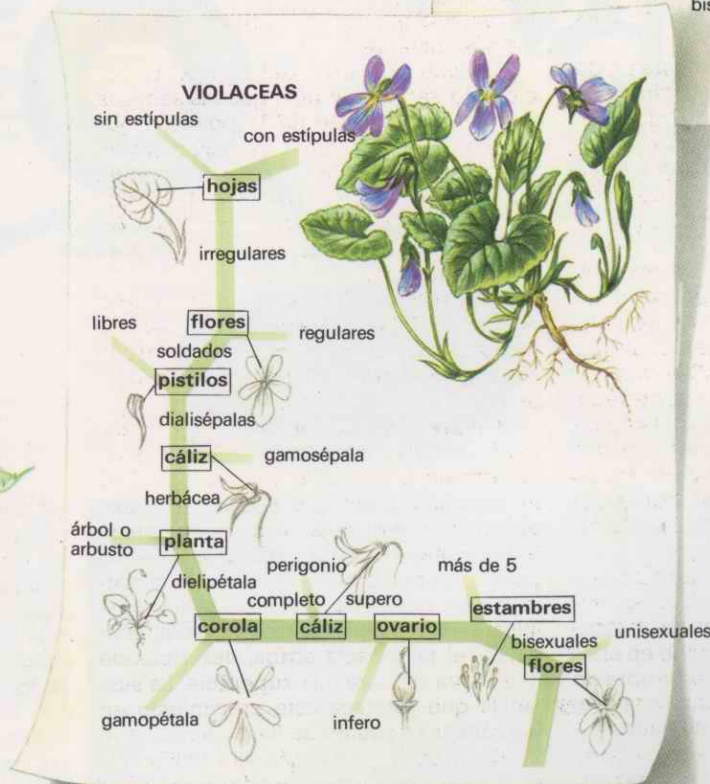
Un ejemplo tan sencillo como el descrito nos permite darnos cuenta de cómo también los fenómenos más simples, para ser plenamente entendidos, requieren investigaciones extremadamente cuidadosas y medios técnicos muy avanzados. Unicamente los progresos realizados por la Química en los últimos años han permitido el reconocimiento de una sustancia tan compleja como es la auxina, y sólo las conquistas aún más recientes del microanálisis han permitido apreciar su mayor concentración en determinadas partes de los tejidos.





La Botánica general estudia la planta desde un punto de vista morfológico y funcional. De un estudio organográfico de la planta (a la izquierda, *Prunus persica*) se ha pasado gradualmente a disciplinas más especializadas. Entre éstas, la Anatomía, que estudia la forma y la estructura de los distintos órganos; la Histología, que estudia los tejidos; la Citología, que estudia la célula, su estructura y el significado de sus componentes; y la Fisiología, que estudia el funcionamiento de la planta.





La Botánica sistemática es la rama de la Botánica que describe, denomina y clasifica las plantas actuales y las que han existido en otras épocas geológicas. La clasificación se efectúa agrupando organismos que presentan características comunes en grupos que se hacen cada vez más amplios (especie, género, familia, orden, clase y división en el Reino Vegetal). Uno de los métodos usados más frecuentemente para llegar a reconocer un organismo vegetal, y conseguir por lo tanto su clasificación, es el de la "clave dicotómica" (a la izquierda, dos ejemplos). Este método se basa en equemas particulares que llevan al reconocimiento a través de elecciones instituidas entre dos caracteres alternativos.

La Botánica y la historia de la Humanidad Los vegetales han constituido siempre la base de la alimentación del hombre, pero, sobre todo, ha sido su cultivo lo que ha permitido al hombre desarrollar una civilización.

El cultivo de las plantas se inició antes del invento de la escritura, así que las primeras fases de este proceso revolucionario han de ser reconstruidas fundamentalmente con ayuda de la imaginación.

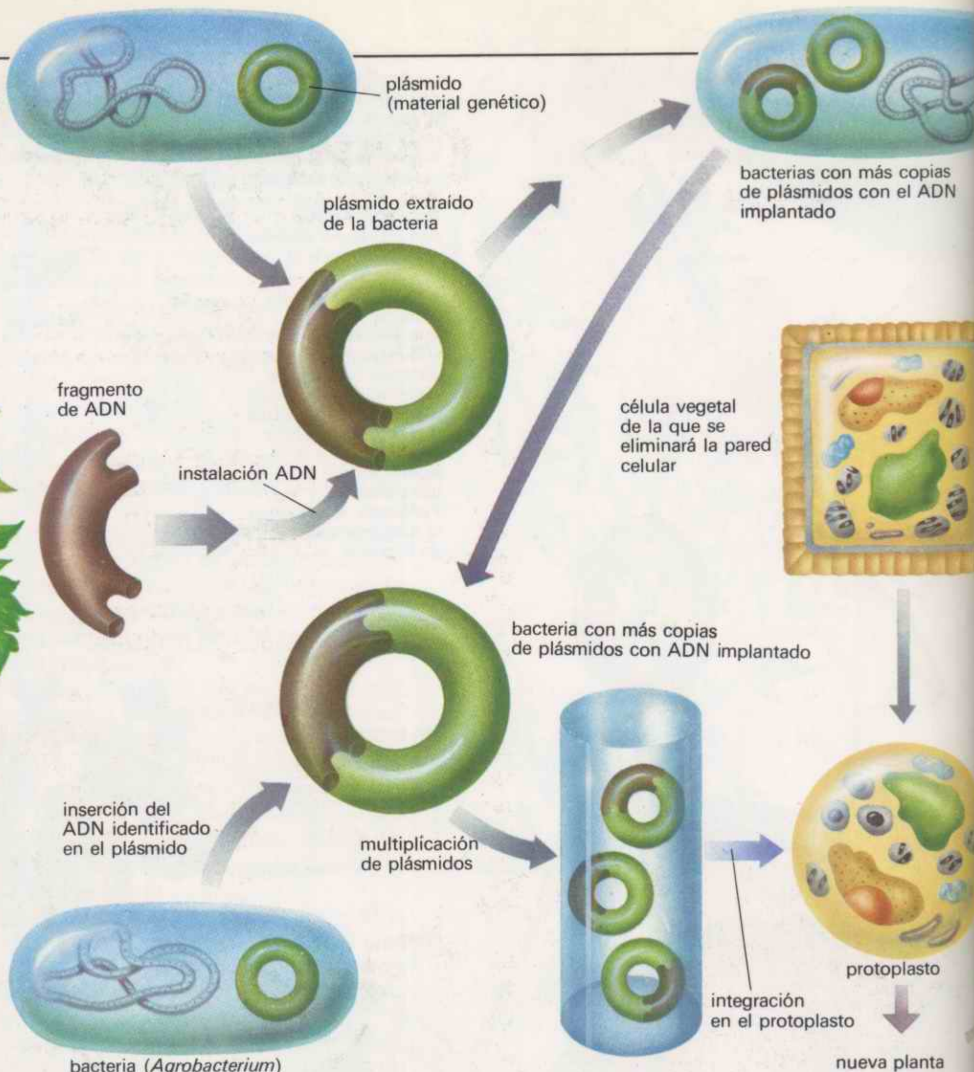
Probablemente, antes del nacimiento de la agricultura las tribus nómadas se alimentaban de la recolección de bayas y frutos silvestres comestibles. Se puede suponer que, en un momento dado, los miembros de una tribu decidieran acampar cerca de una zona particularmente rica en plantas comestibles, "sembrando" a su alrededor inadvertidamente las semillas de las plantas que comían. Transcurrido un cierto período, algunos de ellos podrían haberse dado cuenta de que el área ocupada por las plantas útiles se había extendido, y es probable que un individuo particularmente inteligente e innovador intuyera las causas del fenómeno y esparciera voluntariamente algunas semillas, descubriendo en la estación siguiente que su idea funcionaba.

No se conoce con certeza dónde ni cuándo tuvo lugar por primera vez, pero lo cierto es que hombres y mujeres estuvieron en situación de abandonar la vida nómada en cuanto se dieron cuenta de que podían utilizar una fuente de alimento continua, segura y controlada, estableciéndose en una zona determinada y llevando una vida sedentaria. Todo esto llevó a la formación de los primeros poblados: la era de la civilización había comenzado.

Si los orígenes de la agricultura están rodeados del misterio, gracias a los estudios de paleontólogos y biólogos ha podido ser reconstruido el establecimiento de las primeras comunidades agrícolas importantes. Con descubrimientos conjuntos de este tipo se ha podido establecer, por ejemplo, que ya hacia el año 7000 a. de C. el hombre cultivaba calabazas y

El rápido desarrollo de los estudios de Genética ha favorecido de manera excepcional los progresos de la Botánica aplicada. Gracias a la ingeniería genética, hoy en día es posible producir nuevas especies vegetales con características preestablecidas. Para individualizar en la "planta donante" el gen específico para el carácter que interesa, se inserta el fragmento de ADN de dicha planta en el plásmido bacteriano (por ejemplo, de *Escherichia coli*) en que se amplifica el número de copias de ese ADN a fin de utilizarlas para la identificación del material genético que interesa (arriba, en el esquema). Una vez seleccionado el ADN, se inserta en un segundo plásmido de otra bacteria (por lo general, un *Agrobacterium*), en donde se multiplicará a su vez. Estos nuevos plásmidos se integran, vía fusión de protoplastos, en la célula vegetal y finalmente, después de conseguidas las nuevas plántulas, se puede pasar al cultivo tradicional sobre el terreno.





legumbres en la parte septentrional de Tailandia y en Méjico (evidentemente, la agricultura no ha sido descubierta por el hombre una sola vez y en un solo lugar).

Por otro lado, parece acertado pensar que la verdadera cuna de la civilización agrícola debe buscarse en la llamada "Media luna fértil", la región del Medio Oriente en cuyo centro estaba Mesopotamia y que comprendía aproximadamente los actuales territorios de Palestina, Irák e Irán. Los paleobotánicos han podido cerciorarse de que ya en el VII milenio a. de C. se cultivaba en esta región cebada y trigo, siendo probable que ya entonces se panificasen.

Además, varios hallazgos arqueológicos de instrumentos de trabajo, como alguna que otra hoz, machacadores y morteros de mano líticos, son testigos del notable desarrollo de las prácticas agrícolas en dicha región.

Posiblemente en esta fase los mismos agricultores se dieron cuenta de que convenía concentrar sus esfuerzos en determinadas especies de plantas más ventajosas que otras. Así, las especies cultivadas pasaron a ser mucho menos numerosas que las silvestres comestibles, pero el hecho de que su producción podía ser programada compensaba ampliamente la menor variedad.

A continuación el hombre, aún sin renunciar al cultivo de varias especies de plantas, concentró sus esfuerzos en las más rentables, de tal manera que cada gran civilización basó su sistema en una única especie de planta: el trigo para las civilizaciones mediorientales y mediterráneas, el arroz para las orientales, el maíz para las centroamericanas, la patata para las andinas, etcétera.

Botánica y agricultura moderna Aún en nuestros días, en plena era tecnológica, el hombre no sería capaz de sobrevivir sin las plantas; es más, gracias a los enormes progresos de la Botánica aplicada la población humana ha podido pasar, en poco más de un siglo, de mil millones a cuatro mil millones de individuos: es lo que se ha denominado la "Revolución verde".

Los éxitos de la Genética Hace algunos años se desarrolló en el Extremo Oriente, de un modo totalmente casual, una planta de arroz de dimensiones extraordinarias: su altura era casi el doble de la de una planta normal. Si el hecho hubiese pasado inadvertido, este singular fenómeno no habría tenido ninguna consecuencia práctica. Pero sucedió que dicha planta llamó tanto la atención, que de ella se consiguió, mediante autofecundación con polinización artificial, una nueva estirpe de plantas de arroz gigantes, que actualmente se cultiva en algunas zonas de características ambientales apropiadas y que garantiza un rendimiento de semillas mucho más elevado que el de las plantas normales. El descubrimiento casual, tanto hoy como en el pasado, de nuevas razas naturales, económicamente útiles, de plantas cultivadas es un hecho muy raro; en cambio, los progresos de la Botánica aplicada han hecho posible la "creación programada" de nuevas variedades de plantas cultivadas, registrándose un aumento vertiginoso de las mismas. Esto ha sucedido sobre todo después del rápido desarrollo de los estudios de Genética, que han permitido poner a punto técnicas particularmente eficaces de selección artificial. Estas se basan en la selección de las variedades que se adaptan a unas condiciones determinadas, haciéndolas crecer en esas condiciones y recogiendo sólo las semillas de las plantas más adaptadas o de las que tengan una producción más elevada. Esas semillas son las que se plantarán de nuevo, realizándose la misma operación y así sucesivamente. Igualmente se pueden hacer polinizaciones artificiales entre variedades seleccionadas.

El aislamiento o el cruce de las cepas



seleccionadas se desarrolla en un invernadero o en terrenos apropiados de extensión reducida y con la finalidad de producir semillas comerciales para su cultivo a gran escala. Gracias a los éxitos conseguidos con estas técnicas, hoy, por ejemplo, se dispone de varios centenares de variedades cultivadas de trigo y de arroz, e incluso de algunos millares de variedades de maíz.

Fertilizantes y antiparasitarios Ya en tiempos muy antiguos eran ampliamente conocidas dos prácticas agrícolas de excepcional importancia: el abono y la rotación de los cultivos.

El abono consiste en proporcionar al suelo estiércol o compuestos químicos, ricos sobre todo en nitrógeno y fósforo, para aumentar su fertilidad, ya que el terreno tiende a empobrecerse progresivamente a causa del aprovechamiento agrícola, siendo necesario reponer aquellos elementos químicos que han sido retirados por la cosecha o por efecto del lixiviado, de tal forma que se mantenga y conserve la fertilidad para futuras cosechas. Un resultado parecido se obtiene con la rotación de los cultivos: así, por ejemplo, alternando en una parcela el cultivo del trigo (que tiende a agotar el contenido de nitrógeno del suelo) con el de legumbre para forraje (cuyas raíces tienen en simbiosis bacterias fijadoras de nitrógeno), se logra establecer un equilibrio gracias al cual el trozo de terreno sometido a esa rotación puede ser cultivado durante muchos años. Aún hoy, la rotación y el abono natural tienen una gran importancia; pero además de estas prácticas antiguas, los agricultores modernos disponen de un instrumento nuevo que permite mantener un alto nivel de fertilidad del suelo por un período de tiempo prácticamente indefinido: los abonos químicos.

Efectivamente, gracias a estos fertilizantes producidos artificialmente el contenido de sales minerales del terreno se puede mantener en los niveles requeridos y es posible introducir algunos elementos útiles en cantidades mucho más elevadas de lo que generalmente están presentes en la Naturaleza.

Otra "arma química" de gran valor es la constituida por los antiparasitarios: gracias a estas sustancias, producidas artificialmente por la industria química, los mayores enemigos de las plantas cultivadas (sobre todo insectos y hongos microscópicos) han sido en muchos casos derrotados definitivamente, o por lo menos se han hecho menos perjudiciales. En épocas relativamente recientes los daños provocados por insectos y parásitos vegetales (como el caso de la filoxera en los viñedos franceses y españoles a finales del siglo pasado) podían producir grandes pérdidas económicas e incluso reducir al hambre a poblaciones enteras.

Perspectivas para el futuro Aunque las conquistas de la Botánica aplicada hayan dado indudablemente extraordinarios beneficios a la Humanidad, las perpectivas para el futuro no son incondicionalmente optimistas. Efectivamente: un mal uso de la tecnología moderna puede llevar —y en algún caso ya ha sucedido— a serios inconvenientes, como la contaminación del ambiente por exceso de antiparasitarios o la erosión de los terrenos sometidos a un aprovechamiento agrícola excesivo.

Para algunos de estos inconvenientes existen ya, afortunadamente, alternativas válidas. Los antiparasitarios químicos se pueden sustituir parcialmente con la lucha biológica: las especies perjudiciales ya no se eliminan con sustancias tóxicas, sino que se combaten introduciendo en el ambiente algunos de sus enemigos naturales, depredadores o parásitos. De este modo se ha combatido con éxito la cochinilla del moral (con el empleo de uno de sus parásitos naturales, un minúsculo himenóptero llamado *prospaltella*) y la cochinilla de los agrios (con la introducción de su depredador, una cochinilla).

La tarea fundamental de la Botánica aplicada será en el futuro la de encontrar alternativas igualmente válidas para todos los graves problemas actuales, garantizando así un porvenir más seguro para toda la Humanidad.

Véase **Bosque; Clorofila; Ecología; Plantas; Vegetación, mapa de**



Bóveda y cúpula

La bóveda y la cúpula constituyen la primera auténtica victoria del hombre sobre el espacio y la fuerza de gravedad. Se suele afirmar que la primera delimitación de una porción de espacio realizada en su totalidad por el hombre consistió en una simple cabaña abovedada. A partir de este origen tan humilde se llegó a alcanzar algunas de las más soberbias realizaciones de la historia de la arquitectura, tales como la cúpula de la basílica de Santa Sofía en Estambul, o las bóvedas de cristal de Les Halles de París.

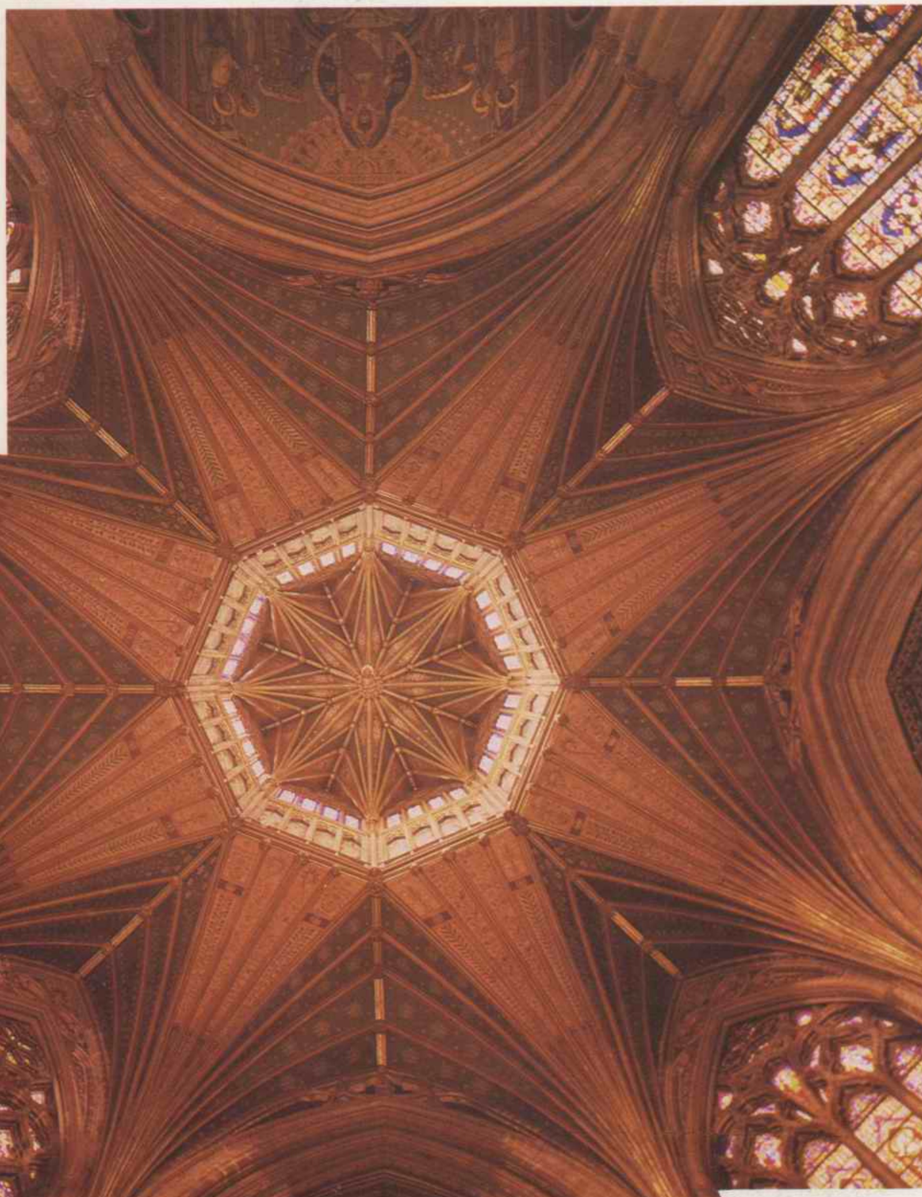
Tipos de cubrimiento: plano o curvo Existen dos soluciones fundamentales para resolver el problema de cómo cubrir un espacio. Una se basa en el principio de la viga recta; la otra, en el arco y sus variantes. La técnica más simple en cuanto a proyecto y tecnología es la del techo plano; en cambio, la cúpula y la bóveda —que son versiones tridimensionales del arco— proporcionan frente al primero soluciones mucho más interesantes y ventajosas, y ofrecen además las innegables ventajas de poder soportar cargas muy superiores y cubrir luces mucho más grandes. Pero estas ventajas reales crean, a su vez, problemas estructurales. Para comprender el funcionamiento de la bóveda y de la cúpula es útil repasar el desarrollo histórico de las mismas. Se trata de una historia de ambiciones e innovaciones en el campo estructural.

La cúpula: el problema de su complejo y sutil equilibrio La cúpula permite una gran variedad de perfiles en su exterior, y de impresiones dinámicas en su interior, plenos de grandiosidad y de gracia. El diseño de la cúpula está en parte condicionado por el tipo de material utilizado, y las posibilidades que ofrece la forma diseñada podrán conseguirse solamente si se le proporciona a ésta el soporte adecuado. Una cúpula es una cubierta de sección circular, o a veces elíptica, colocada sobre un espacio circular, cuadrangular, rectangular o poligonal. Se trata, en síntesis, de un arco de circunferencia que gira alrededor de un eje vertical. Al igual que el arco, la cúpula desarrolla diferentes fuerzas, provocadas por la particular distribución de los esfuerzos a los que está sometida. Los empujes laterales, o presiones dirigidas hacia el exterior de la cúpula, se distribuyen alrededor de todo su perímetro, por lo que la base circular constituye su soporte ideal. Sin embargo, estos empujes condicionan en grado sumo las aplicaciones arquitectónicas de la bóveda, por lo que el progreso en la tecnología de la cúpula se puede asimilar al progreso en el afinamiento de los elementos estructurales necesarios para resistir los diferentes empujes.

Los romanos desarrollan la cúpula autoportante como resultado de la experiencia técnica conseguida en obras de fábrica, y, sobre todo, gracias al uso del cemento. El Panteón (120-124 d. de C.) es el ejemplo más relevante de cúpula de fábrica, con un diámetro de 43 m, medida que coincide exactamente con su mayor altura interior. Imponentes cimientos, muros de 6 m de espesor, arcos de descarga y la superficie interna de casetones en la cúpula, construida con paneles huecos para reducir su peso, son algunas de las soluciones adoptadas para contrarrestar los empujes laterales. Una abertura central u "ojo", en el vértice de la cúpula, proporciona la única iluminación natural existente.

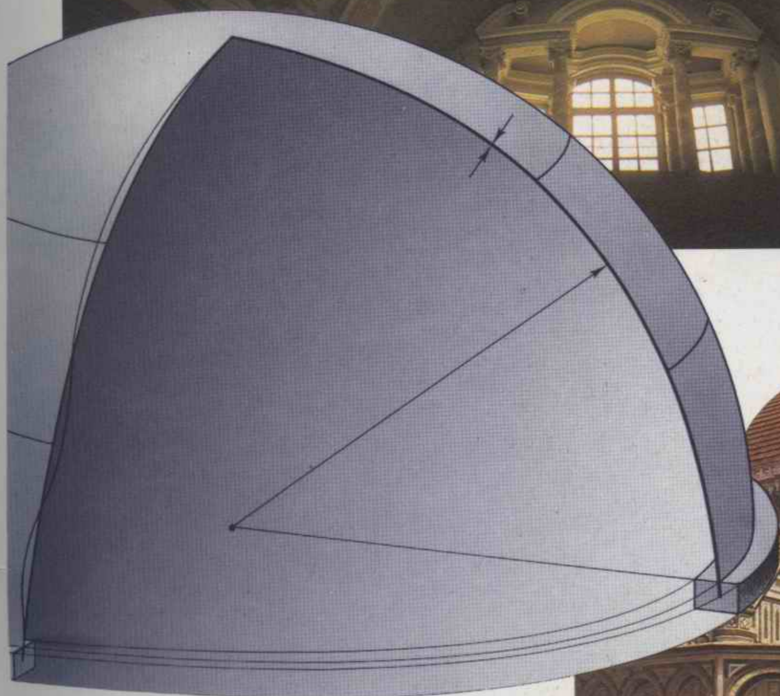
Los bizantinos resolvieron con éxito el problema de la edificación de cúpulas sobre base cuadrada o rectangular. Desarrollaron un sistema de soportes, llamados *pechinas*, consistente en cuatro gajos formados por triángulos esféricos cuyos vértices inferiores descansan sobre soportes rectangulares autoportantes o pilares, mientras que las bases superiores se unen entre sí formando un círculo, sobre el que se erige la cúpula. Dado que el cuadrado constituido por los cuatro pilares no necesita muros de unión, se puede conseguir con este sistema unos interiores más espaciosos. En la famosa basílica de Santa Sofía de Constantinopla (Estambul), al uso de las pechinas se añadieron elementos revolucionarios tales como los contrafuertes, obteniéndose así una cúpula de 30 m de diámetro y de 55 m de altura que, vista desde su interior, parecía como "suspendida del cielo por una cuerda de oro".

Durante el Renacimiento se descubrieron nuevos métodos para reducir los pesos y los empujes, lo que permitió edificar cúpulas más altas y una mayor variedad de formas. Brunelleschi realizó para el Duomo de Florencia (1420-1436) una doble cúpula con nervios. Ante el problema de levantar una cubierta sobre un espacio octogonal, Brunelleschi construyó una cúpula apuntada de espesor suficien-



A la izquierda, la cúpula central de la iglesia catedral de Ely (Inglaterra), del siglo XIV. Formada por la intersección de bóvedas cilíndricas, la parte central se cierra mediante un *cimborrio* que cumple también la función de *clave* de la cúpula.

A la izquierda, la cúpula de la iglesia de San Lorenzo en Turín. Es del siglo XVII y fue construida por Guarino Guarini. Abajo, la cúpula del Duomo de Florencia, de Brunelleschi. Las cúpulas góticas y renacentistas son las que alcanzan mayor delgadez de entre las construidas con materiales tradicionales; en efecto, inicialmente éstas eran extraordinariamente robustas en las iglesias románicas, pero también muy pesadas. Su espesor alcanzaba un alto porcentaje (21-20 % como mínimo) del radio de la cúpula. Para construir tales cúpulas se necesitaban por lo tanto no sólo gran cantidad de materiales y mano de obra, sino también un armazón de soporte de gran robustez, altamente costoso. El problema de las bóvedas delgadas es la aparición de deformaciones en planos diferentes a aquéllos en los que el elemento, por su forma, presenta mayor robustez.



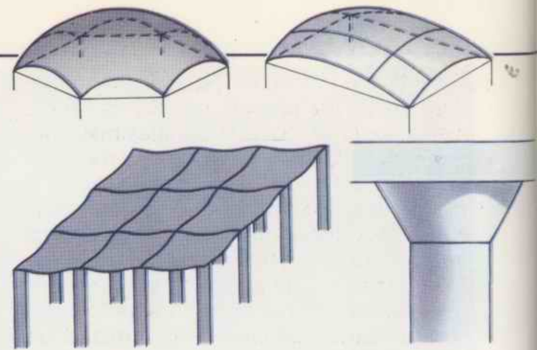
Arriba, esquema de una moderna cúpula de más de 10 m de radio y menos de 60 mm de espesor. La tendencia a doblarse flexiblemente bajo el peso propio se contrarresta mediante la resistencia del material en el sentido de los paralelos.

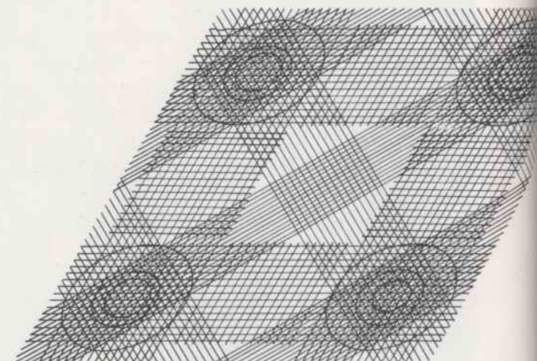
te para contener en su interior otra circular, realizando así una excepcional doble cúpula. El uso de dobles e incluso de triples cúpulas se hizo cada vez más común, pues permitía realizar admirables formas exteriores que servían al mismo tiempo para proteger las cúpulas interiores. Por otro lado, la introducción de tirantes metálicos (llamados *cadenas*) alrededor de la base de la cúpula, para así contrarrestar los empujes, permitió adoptar elementos de soporte mucho más ligeros y audaces. Estas técnicas arquitectónicas se mantuvieron en líneas generales a lo largo de todo el siglo XIX, no utilizándose más que de forma esporádica los nuevos materiales disponibles a partir de la Revolución Industrial. Sin embargo, en fechas recientes se han notado grandes avances en la tecnología de las cúpulas. El hormigón armado ofrece menos problemas de esfuerzos y empujes respecto de los materiales tradicionales. R. Buckminster Fuller ha desarrollado la cúpula geodésica, cuya superficie está configurada por módulos triangulares o tetraédricos: mediante éstos, los esfuerzos se distribuyen en el interior de la cúpula misma, no siendo necesario el uso de soportes auxiliares.

La bóveda como arco tridimensional La bóveda es análoga al arco, y presenta por lo tanto problemas estructurales similares. Se puede describir como una sucesión continua de arcos adosados, lo suficientemente profunda como para cubrir un espacio tridimensional. La bóveda provoca dos tipos de fuerzas: un empuje vertical hacia abajo, debido al peso propio del material, y dos empujes laterales, que tienden a hacer que la bóveda se abra. Para evitar el colapso de la estructura será necesario equilibrar tales empujes en la parte inferior de la bóveda. Este efecto puede obtenerse fundamentalmente de tres maneras: con muros o pilares de gran espesor, mediante contrafuertes exteriores o interiores, equilibrando el empuje de una bóveda con otra. Sin embargo, cada tipo de bóveda desarrollado a lo largo de los siglos ha creado una serie de problemas y de sucesivas soluciones.

La *bóveda de cañón* es el tipo más simple, y la más antigua. Los romanos, gracias a sus elaboradas técnicas murales, adoptaron este tipo de bóveda, pero desarrollaron también la *bóveda de arista* y la *de lunetos*, en la que dos bóvedas de cañón intersecciónan según un ángulo recto. Repitiendo consecutivamente este elemento constructivo, fue posible cubrir áreas rectangulares de dimensiones ilimitadas.

En el siglo XI, el gran período de construcción de las catedrales e iglesias románicas europeas, se siguieron utilizando las bóvedas de cañón y arista principalmente. Desde el segundo tercio del siglo XII, en el estilo llamado *gótico*, la mayor novedad la constituyó el desarrollo de la *bóveda de crucería*. Este tipo de bóveda permitía realizar un armazón en obra de fábrica y rellenarlo después con un material de cubrimiento. Dicho sistema constituía un notable progreso en comparación con los métodos anteriores, que exigían que toda la bóveda fuese elevada al mismo tiempo,

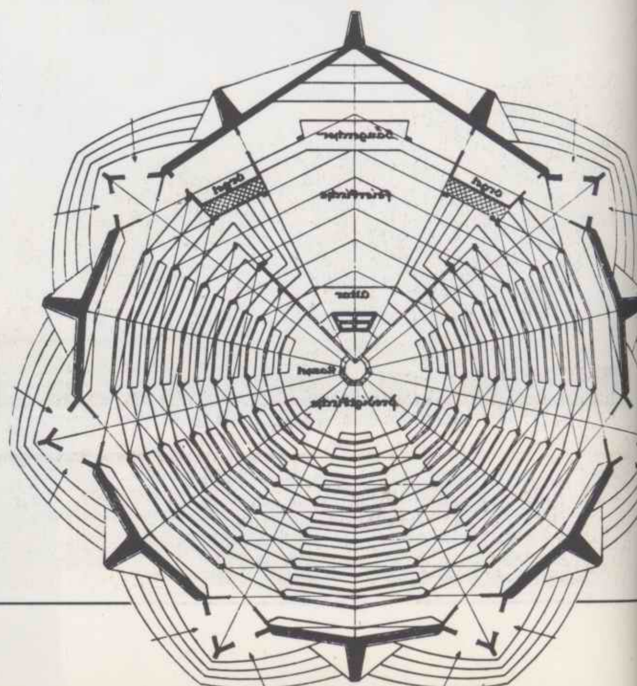




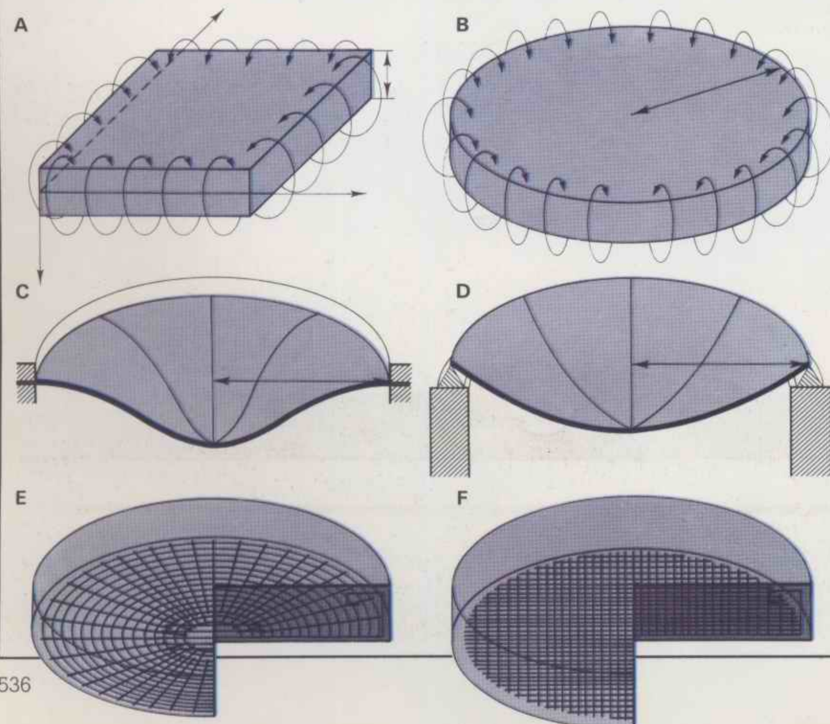
Arriba, bóvedas de doble curvatura; este tipo ofrece mayor rigidez y por lo tanto posibilidades de construir bóvedas más delgadas. Debajo, una cubierta con elementos planos demuestra el tipo de deformaciones a que éstos están sometidos; más abajo, el tipo de armadura que habrá que utilizar para realizar dicha cubierta en hormigón armado, en el caso en que se deba apoyar sobre plintos cuadrados situados en la cabeza de los pilares.

Bajo estas líneas, planta y sección de la Sternkirche (1921). Las cubiertas están constituidas por elementos de bóvedas cilíndricas, pero dotadas de cortes muy complejos que dan lugar a tímpanos sinérgicos.





Abajo, los esfuerzos que actúan sobre algunos tipos de cúpulas, y la manera de contrarrestar sus efectos en las construcciones en hormigón armado. En A tenemos el caso de una cubierta plana en la que se ve cómo existen esfuerzos de torsión a lo largo de toda su periferia. Lo mismo vale para B, donde se trata de una estructura circular y de gran espesor. En C, en cambio, tenemos una placa delgada encajada en su borde exterior. Los meridianos muestran cuál es la forma de la superficie deformada. La deformación es totalmente diferente en el caso D de una cubierta de membrana, delgada, y apoyada sobre los extremos. Para contrarrestar estas deformaciones y resistir los esfuerzos se utiliza una armadura radial y circular en el primer caso, E, y de cuadrícula en el segundo, F.



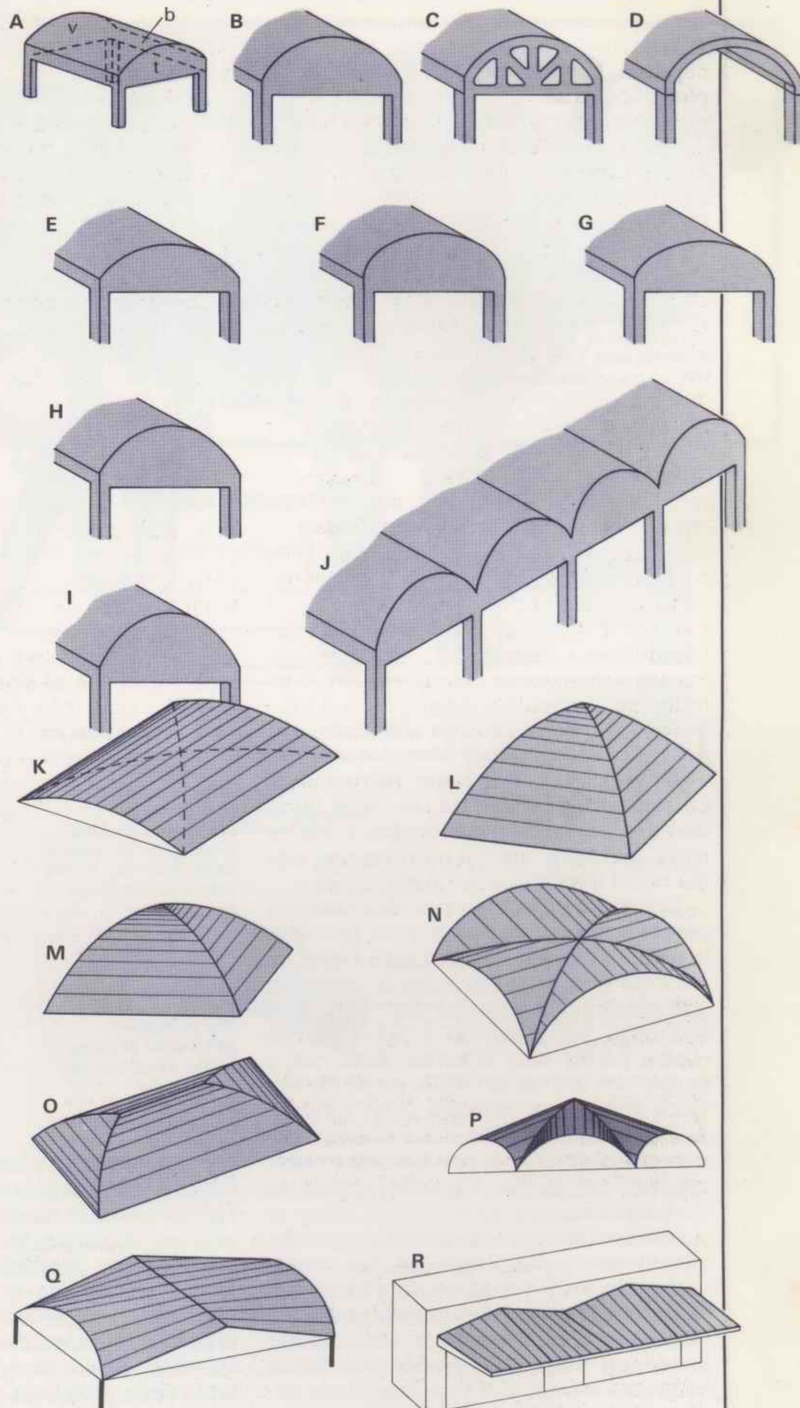
de manera que los empujes fuesen equilibrándose recíprocamente. El resultado fue el poder emplear materiales más ligeros, y consiguientemente cubrir mayores superficies con soportes de menores dimensiones. Los empujes se descargaron sobre soportes autoportantes, o pilares, en vez de muros, como acaecía en el caso de la bóveda de cañón. Esta bóveda perfeccionada se convirtió en uno de los elementos fundamentales de la arquitectura gótica, hasta alcanzar su mayor perfección en las bóvedas de crucería.

Otro avance notable, motivado por el deseo de los constructores de reducir el espesor de los muros, fue el *arbotante*, o arco de apoyo rampante, dispuesto externormente en el punto de mayor empuje de la bóveda. Estos esbeltos arcos de apoyo descargaban a su vez los empujes sobre gruesos contrafuertes, situados generalmente bajo el nivel de las vidrieras que solían poseer las arquitecturas góticas.

A partir del siglo XIX, la utilización de nuevos materiales vino a reducir considerablemente los problemas derivados del peso propio y de los empujes. Se utilizaron grandes entramados metálicos como estructura de soporte de una bóveda construida con materiales ligeros. La forma se mantuvo inalterada, eliminándose sin embargo gran parte de los problemas estructurales.

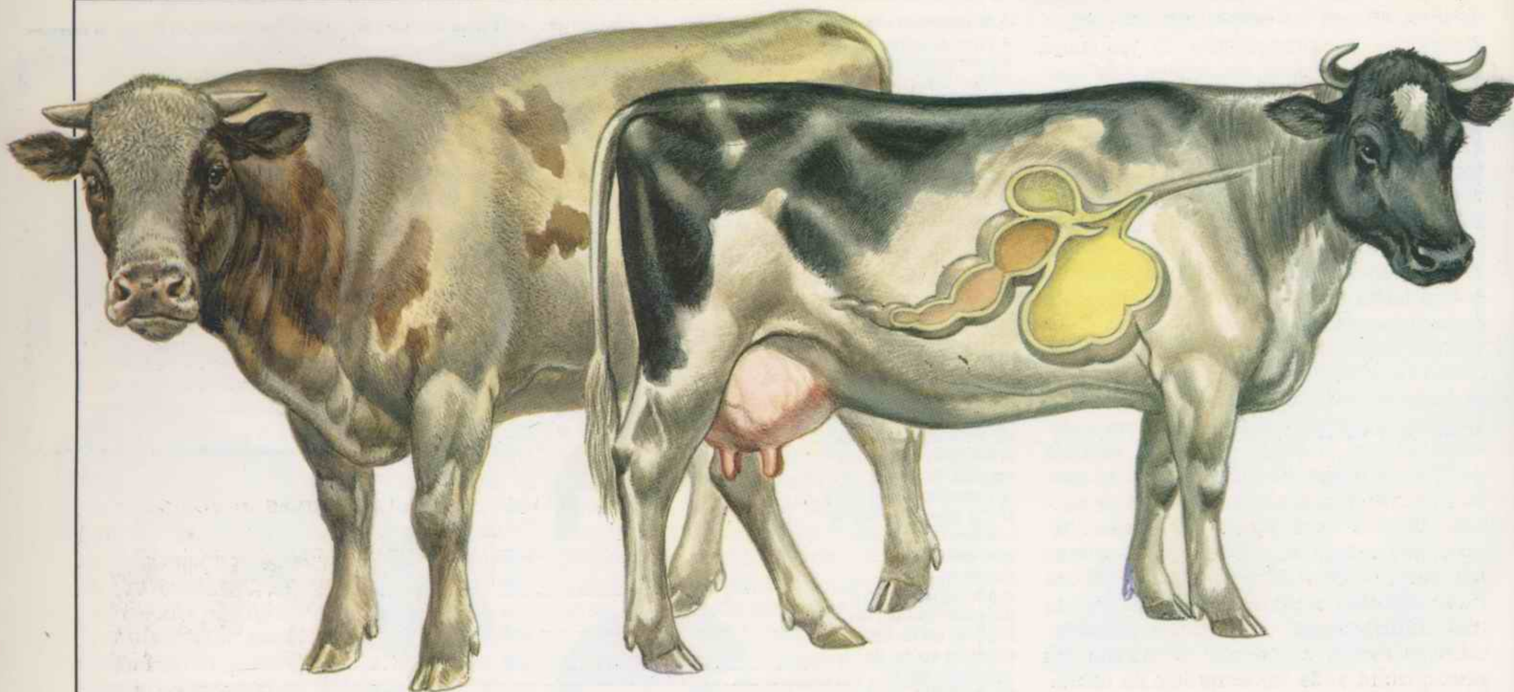
En fechas recientes, con el desarrollo de las esbeltas cubiertas curvas en hormigón armado, las bóvedas pueden ser proyectadas con mayor libertad desde el punto de vista estructural; en efecto, las armaduras utilizadas en su construcción eliminan los empujes laterales, pudiéndose sostener las bovédas de manera sencilla como si se tratase de simples vigas. Incluso se llega a eliminar la necesidad de muros de soporte. Este tipo de bóvedas en hormigón armado ha demostrado ser uno de los avances más significativos de la arquitectura moderna.

Véase **Arco, arquitectura; Arquitectura**



A la derecha, bóvedas e intersecciones en su forma geométrica. Arriba, bóvedas simples. Se trata de cubiertas en forma de cilindro generalizado, constituyendo por lo tanto una superficie sobre la cual se pueden trazar rectas, todas ellas paralelas entre sí. En A, *v* es la bóveda; *b* las vigas de borde; *t* el tímpano. El tímpano desarrolla la importante función de mantener la forma de sección del cilindro que constituye la bóveda. Desde el punto de vista constructivo, el tímpano puede ser macizo, B; de entramado, C; de arco, D. La bóveda toma el nombre de la curva que delimita el tímpano superiormente: en E, directriz circular; en F, elíptica; en G, de cicloide; en H, de catenaria; en I, de parábola; en J, bóvedas adosadas para cubrir grandes superficies. Debajo, formas más complejas obtenidas mediante la intersección de otras elementales: en K, cúpula cilíndrica dividida en dos gajos y dos lunetos; en L y M, cubiertas obtenidas por la unión de gajos; en N, de lunetos; en O, con lunetos desiguales; en P, de intersección de uñas; en Q, con superficies regladas de forma compleja; en R, marquesina compuesta por superficies regladas. En la foto bajo estas líneas, el terminal del aeropuerto Kennedy de Nueva York, con originales cubiertas de gran dinamismo.





La vida de una vaca, en apariencia, parecería de las más cómodas: sol, aire libre y nada más que hacer, salvo comer. En realidad, un ejemplar de carne rinde de 250 a 350 kg de producto útil, y, por su parte, una vaca lechera produce una media de 25 litros de leche al día.

Las vacas comen no por aburrimiento, pereza o inquietud, sino porque realmente tienen necesidad de ello; para poder digerir las grandes cantidades de alimento que le son indispensables disponen de un estómago especializado subdividido en cuatro partes bien distintas. Esas cuatro partes que forman el estómago de los bovinos son: *panza*, *redecilla*, *libro* y *cuajar*. Análoga conformación del estómago podemos observarla en muchas otras especies herbívoras que forman el grupo de los rumiantes.

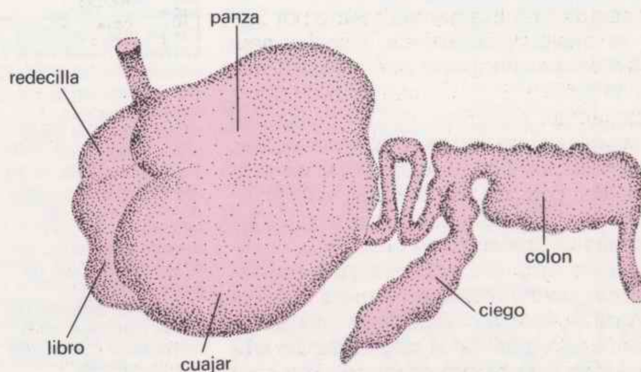
Los bovinos, que se alimentan predominantemente de vegetales de escaso contenido hídrico y de consistencia coriácea, como hierbas y heno, mastican largamente el alimento, que a continuación puede ser tragado y llevado a la panza donde es sometido a la acción de la secreción de líquidos reguladores del grado de acidez y a la fermentación bacteriana, para ser luego devueltos a la boca y nuevamente masticados (rumia). Después, el alimento así remasticado es nuevamente tragado y pasa a la redecilla (donde experimenta una ulterior fermentación) alcanzando una apropiada fluidez y consistencia, para pasar posteriormente al libro, que absorbe parte del contenido hídrico, haciéndolo más compacto. El cuajar desarrolla funciones similares a las del estómago humano, con las secreciones de ácido clorhídrico y de enzimas digestivas que reducen el alimento a sustancias nutritivas más simples y digeribles.

En los animales no rumiantes, los carbohidratos de estructura simple (azúcares) constituyen la fuente energética primaria. Carbohidratos complejos y grasos son convertidos en azúcar en el curso del proceso digestivo. En los bovinos, por el contrario, los productos finales de la digestión son ácidos grasos volátiles (VFA, del inglés *volatile fatty acids*), que serán sucesivamente asimilados por la mucosa intestinal. Si una vaca comiese azúcar, este no sería asimilado sino que pasaría en su totalidad a experimentar la fermentación operada por la flora bacteriana del rumiante. Lo anterior no sucede de igual forma en los terneros jóvenes que se nutren exclusivamente de leche. Un canal en el esófago permite pasar la leche directamente al cuajar, donde los procesos digestivos son análogos a aquellos que se observan en los no rumiantes. Este canal se retrae y cesa de desarrollar su función cuando los terneros comienzan a alimentarse con dieta sólida.

Los bovinos fueron los primeros animales domesticados por el hombre y utilizados para fines tales como tracción, producción de leche y carne, etc. Hoy, en los países desarrollados, se crían para fines alimentarios y a tal fin han sido seleccionadas razas productoras de leche y razas de carne. Los bovinos pertenecen al grupo de los rumiantes por la particular conformación de su estómago.

Bovinos de carne El peso medio de los bovinos productores de carne varía entre los 270 y 300 kilos. Por cada 50 kilos de peso, un bovino adulto come cerca de 2 kg de alimento al día.

ESTOMAGO DE RUMIANTE



ESTOMAGO DE CARNIVORO U OMNIVORO

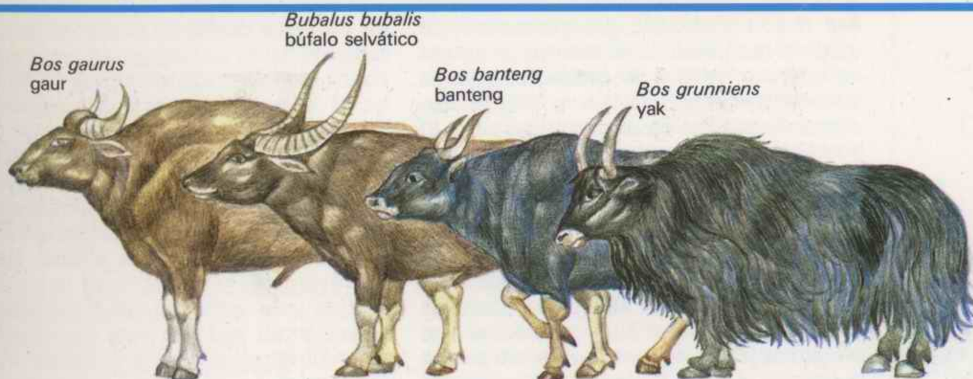


ESTOMAGO DE HERBIVORO NO RUMIANTE



La anatomía del aparato digestivo nos dice si el animal puede sustraer alimento de la celulosa o de otros animales. En los animales con aparato digestivo simple, carnívoros y omnívoros, se encuentran bacterias sólo en el intestino ciego y en el colon, por donde el alimento pasa rápidamente.

En los herbívoros no rumiantes, estas partes del intestino son más grandes, pero no suficientemente idóneas. En los rumiantes, la degradación de la celulosa se produce en la rumia: el intestino entero, en toda su longitud, resulta entonces disponible para la absorción de las sustancias nutritivas.

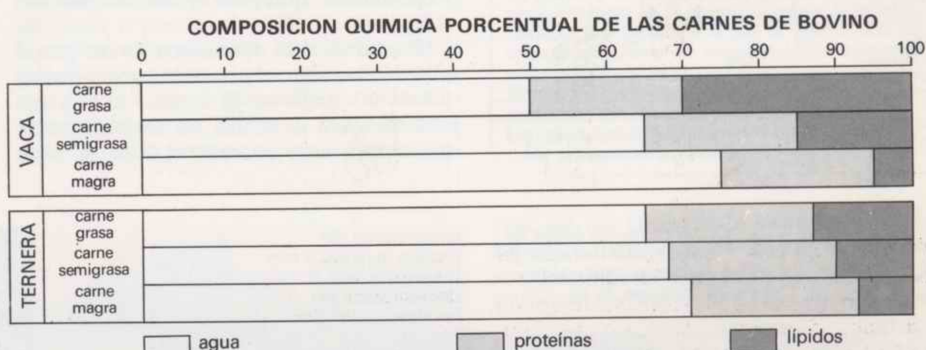


De una sola población uniforme de la misma especie pueden derivar especies diversas según la adaptación al hábitat de los distintos grupos. Un ejemplo lo ofrecen los bovinos del Sudeste asiático. El gaur habita las colinas boscosas; el búfalo selvático, las zonas pantanosas; el banteng vive en Java; el yak, en las frías zonas del Tíbet y del Asia central.

La cantidad de carne producida, por el contrario, está cerca del 55-60% del peso vivo, porcentaje que desciende al 45% en los ejemplares más viejos. Los mejores bovinos productores de carne, jóvenes y con sobrepeso, pueden rendir en carne hasta el 70% de su peso vivo. Durante los diez o quince días anteriores a su sacrificio, los bovinos son sobrealimentados y toda su actividad se reduce al máximo. El sacrificio se realiza generalmente por medio de pistolas de estilete o fusiles neumáticos, que aplicados a la sien del animal le provocan una muerte indolora e instantánea.

La calidad de la carne obtenida no es menos importante que la cantidad. Los músculos compactos de fibras sutiles producen la carne más apreciada, motivo por el cual se prefieren los animales jóvenes. En los ejemplares jóvenes, además, la grasa está moderadamente desarrollada y uniformemente distribuida; sin una cierta cantidad de grasa la carne resulta dura. La grasa debe ser blanquecina, sólida y seca en vez de aceitosa. El color de la carne varía del rosa pálido al rojo oscuro.

Los diferentes "cortes" de la carne provienen de las diversas partes del cuerpo del animal; así, por ejemplo, la costilla proviene de la región del dorso junto a la espalda; la punta, del tórax; el lomo, de la parte posterior del dorso; el filete, de los muslos.





Arriba, composición química porcentual de la carne de ternera y de la carne de vaca crudas. El proceso de cocción modifica sustancialmente estas cantidades, y, en consecuencia, el valor nutritivo correspondiente. A la derecha, composición química porcentual de la leche.

Bovinos de leche En una vaca de leche, diez toneladas de sangre circulan diariamente por las mamas. Después de la digestión, parte de los elementos nutritivos que han entrado en el cuerpo es transportada a las glándulas mamarias, donde se convierte en los elementos constitutivos de la leche, que fluye al exterior a través de los pezones.

Hoy día el ordeño suele efectuarse de forma automática, bajo la supervisión de operadores especializados. La operación se desarrolla dos veces al día, bajo techo y en ambientes adecuados (las vacas están dispuestas en establos separados pero adyacentes). Antes de la aplicación de la máquina ordeñadora a los pezones, las vacas son lavadas. La leche se extrae por medio de una succión rítmica y se transporta a través de tubos a un amplio recipiente colector. Para prevenir el deterioro del producto, la leche debe ser enfriada a diez grados centígrados en las dos primeras horas después del ordeño.

Desde los tiempos más antiguos, la crianza de los bovinos ha sido considerada una actividad de prestigio y de vital importancia. Conforme ha ido aumentando la población, la ganadería bovina se ha ido incrementando a fin de asegurar una mayor disponibilidad de leche y carne. En el Medievo se desarrollaron técnicas de cruce para obtener vacas más productivas, y a partir del siglo XVIII el cruce selectivo ha sido aplicado en todas partes a gran escala.

Las razas de leche más importantes son cinco. La mayor productora de leche en términos absolutos es la raza *frisona*, conocida también con los nombres de Holstein-Frisia o manchada holandesa. Su leche presenta un contenido moderado de grasas (3,7%) y, en términos absolutos, el más bajo de proteínas (3,2%). Las vacas de raza frisona, originariamente criadas en Holanda, son de gran talla y con pelaje blanco y negro o blanco y rojo.

Las vacas de raza *jersey* producen por el contrario la leche con más alto contenido graso (5,2%), con un contenido en proteínas también elevado (3,9%). La jersey es la más pequeña entre las cinco razas más importantes de vacas productoras de leche; tiene el pelaje rojizo —a veces manchado de blanco— y es originaria de la isla del mismo nombre, en el Canal de la Mancha. De la vecina isla de *Guernsey* proviene la raza homónima, que también es rojiza con manchas blancas. Su leche contiene de media un 4,8% de grasas y un 3,9% de proteínas. La *ayrshire*, conocida por su vigor y robustez, es originaria de Escocia. La *bruna alpina*, originariamente criada en Suiza, es de color gris negruzco o negro oscuro y se caracteriza por su lengua negra. Tanto la ayrshire como la bruna alpina producen una leche que contiene un 4,1% de grasas.

Buenas productoras tanto de leche como de carne son las razas *devon*, *shorthorn*, *simmenthal* y *valdostana*.

Véase **Zoología y zootecnia**

Bromo y yodo

NOMBRE	BROMO
SIMBOLO	Br
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del griego βρωμος, "hedor"
N.º ATOMICO	35
PESO ATOMICO	79,909
ESTADO NATURAL	como bromuro en las aguas marinas
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	A. J. Balard (1826)
PRODUCCION	oxidación del bromuro
P. f. (°C)	−7,2
P. eb. (°C)	58,7
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	2,92
PROPIEDADES Y APLICACIONES	en la preparación de colorantes, de productos farmacéuticos (sedantes) y en fotografía.

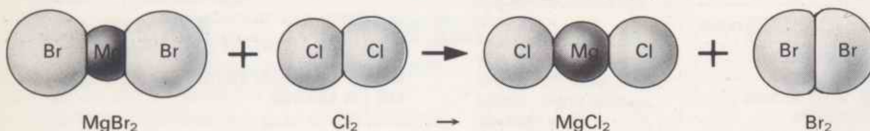
El *bromo* es, junto con el mercurio, el único elemento que permanece líquido a temperatura ambiente. Es de color rojizo y emana un olor sofocante. Es también venenoso y ataca la piel produciendo llagas que cicatrizan lentamente. El *yodo*, que en general se estudia junto con el bromo, es un sólido de color azul-negro a temperatura ambiente. Es el único entre los elementos que al calentarse pasa directamente al estado gaseoso. Su vapor, de color violáceo, irrita los ojos, la nariz y la garganta. Nada en el aspecto físico de estos dos elementos hace sospechar que tengan algo en común. Sin embargo, los químicos clasifican ambos como miembros de la misma familia, ya que existen analogías en su estructura atómica, en sus propiedades químicas y en las de sus compuestos.

Una familia de elementos es un grupo cuyos miembros poseen propiedades químicas similares. El bromo y el yodo pertenecen a la familia de los halógenos, que comprende además el flúor, el cloro y el astato, cada uno de ellos muy distinto de los otros desde un punto de vista puramente físico. La propiedad más característica de todos los miembros de la familia de los halógenos es su alta reactividad química.

En la tabla periódica, en la que se relacionan todos los elementos en base a su estructura atómica, los elementos que se encuentran en la misma columna vertical pertenecen todos a una misma familia. Efectivamente: si se observa la tabla periódica y se localizan las posiciones del bromo y del yodo, se verá que ambos se encuentran en la misma columna —la de los halógenos—, la segunda a partir de la derecha.

El bromo El químico francés Antoine-Jérôme Balard descubrió el bromo en el año 1826. Balard estaba estudiando los residuos que se habían formado durante la producción de sal a partir del agua de mar. Cuando sometió estos residuos a determinados tratamientos químicos, obtuvo

El bromo se extrae de las aguas-madre de las salinas (que quedan después de la cristalización del cloruro de sodio y que lo contienen en forma de sales llamadas → *bromuros*), tratándolas con cloro gaseoso en columnas de platos. El cloro "desplaza" el bromo de sus sales, formando cloruros, y se forma bromo en estado de vapor, el cual se envía a un separador-condensador juntamente con el vapor de agua y el cloro en exceso. Aquí el bromo y el vapor de agua se condensan, mientras el cloro queda en estado de vapor. El bromo líquido, que se separa de la solución acuosa (que contiene aún una cierta parte de bromo), está todavía contaminado con cloro, por lo que es enviado a una columna de rectificación. En la foto, el bromo mientras es introducido en un matraz esférico a través de un émbolo goteador.





NOMBRE	YODO
SIMBOLO	I
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del griego ιωδης, "violeta"
N.º ATOMICO	53
PESO ATOMICO	126,9044
ESTADO NATURAL	en las yodargiritas, en las evaporitas marinas, en el nitrato de Chile.
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	B. Courtois (1811)
PRODUCCION	de las aguas-madre de la cristalización del nitrato de Chile, o por oxidación de los yoduros
P. f. (°C)	113,7
P. eb. (°C)	184,35
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	4,93
PROPIEDADES Y APLICACIONES	elemento indispensable para la vida; se utiliza en fotografía, en radiología y en terapia

un vapor rojo que él condensó consiguiendo un líquido rojizo-pardo. El olor era totalmente asfixiante, tanto que la Academia de Ciencias francesa puso a este elemento el nombre de *bromo* (del griego *bromos*, que significa "hedor").

El bromo se encuentra en los minerales y sales contenidos en el agua de mar, aunque no en gran cantidad. El agua de mar y los depósitos salinos son la principal fuente de obtención de bromo.

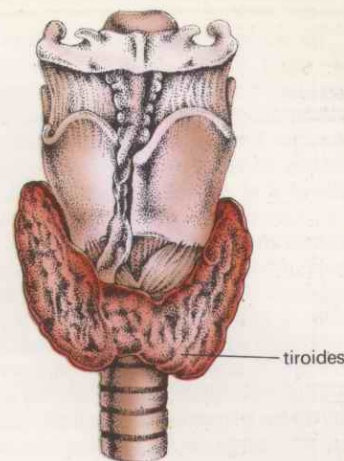
En estado puro el bromo tiene pocas aplicaciones; el bromo puro se utiliza principalmente para formar bromuros —compuestos del bromo—, que tienen diversos usos. El dibromuro de etileno, por ejemplo, se añade a la gasolina que contiene derivados del plomo porque limpia el motor de los depósitos de plomo que se forman al añadir dichos antidetonantes. El bromuro de potasio y el de sodio son empleados como sedantes, comúnmente conocidos por *bromuros*. El bromuro de plata es uno de los productos sensibles a la luz utilizados para hacer películas fotográficas.

El yodo También el yodo fue descubierto por un químico durante el estudio de sustancias marinas. En el año 1811 el químico francés Bernard Courtois calentó una mezcla de cenizas de algas de mar y de ácido sulfúrico. Obtuvo un vapor color violeta que condensó, resultando una sustancia cristalina que llamó "sustancia X". Dos años más tarde tuvo la ocasión de enseñar el insólito cristal al químico inglés sir Humphry Davy, el cual sugirió que se trataba de un nuevo elemento, para el que propuso el nombre de *yodo* (en griego: "de color violeta").

El yodo es uno de los microelementos minerales necesarios para el cuerpo humano. Las necesidades de yodo no están bien establecidas, pero se cree que una cantidad de 100 microgramos por día es suficiente. La glándula tiroides contiene la mayor parte: esta glándula produce una hormona que contiene yodo, la cual regula el metabolismo de todo el cuerpo. Una carencia de yodo, fenómeno bastante raro, causa un trastorno serio llamado *bocio*, cuyo principal síntoma es el abultamiento del tiroides. El bocio se presenta en forma endémica en ciertas regiones montañosas (Alpes, Cárpatos, Pirineos, etc.) donde el contenido en yodo en la naturaleza es muy pobre. Para prevenir esta deficiencia, se añade a menudo este elemento a la sal de cocina, en pequeñas cantidades —dos partes de yodo por cada 10.000 partes de sal es la dosis típica—.

Muchos yoduros —compuestos de yodo— se utilizan como antisépticos. Uno de éstos es la "tintura de yodo", una solución de yodo y yoduro de potasio en alcohol. El yoduro de plata es otro de los compuestos sensibles a la luz utilizados en fotografía. Los compuestos del yodo se emplean también en Química analítica para determinar la presencia de ciertas sustancias: así, los yoduros de mercurio se utilizan para revelar la presencia de amoniaco, mientras que las soluciones de yodo se tornan negras en presencia de almidón.

Véase **Halógenos; Tabla periódica de elementos**



La glándula tiroides contiene la tercera parte del yodo existente en el cuerpo humano. El tiroides controla la velocidad a la que el cuerpo produce energía quemando los alimentos. Esto se efectúa por medio de hormonas que contienen yodo; si éste es insuficiente, el tiroides se hincha, formándose en el cuello una protuberancia conocida con el nombre de *bocio*.







Arriba, a la izquierda, cristales de yodo dotados de brillo metálico. Una propiedad del yodo es la de sublimar (es decir, pasar directamente del estado sólido al estado gaseoso por medio de calor) formando vapores color violeta (abajo). Abajo, a la derecha, yodo sublimado en una probeta: los vapores, al enfriarse, forman cristales sobre las paredes.

Brontosaurio

Los museos de Historia Natural y muchos libros de texto tuvieron que cambiar cuando, hace poco tiempo, los paleontólogos descubrieron que el "brontosaurio" había sido representado y denominado durante casi medio siglo con la cabeza y el nombre equivocados.

El brontosaurio (más correctamente, *apatosaurio*) fue uno de los más grandes dinosaurios que vivieron hace aproximadamente 160 ó 140 millones de años, durante el Jurásico y el Cretácico inferior.

En 1879 el paleontólogo norteamericano Othniel Charles Marsh, de la universidad de Yale, descubrió en Wyoming el esqueleto de un brontosaurio fósil sin cabeza, de casi 20 metros de largo. Después de haber encontrado algunos huesos de la mandíbula en una excavación que distaba casi seis kilómetros del lugar del hallazgo, los investigadores reconstruyeron un cráneo redondo, con la nariz achatada, que parecía adaptarse a ese esqueleto.

Ha sido recientemente cuando un grupo de investigación del Museo Carnegie de Historia Natural de Pittsburgh descubrió el cráneo auténtico y dio al apatosaurio su cabeza auténtica. Durante años, la gente se maravillaba del hecho de que un animal tan gigantesco tuviese un cerebro tan pequeño; ahora los científicos han tenido que determinar si esa nueva cabeza supone que el brontosaurio poseía un cerebro mayor, (aunque éste no habría podido ser mucho más grande con el "nuevo" cráneo).

El gran cuerpo del brontosaurio Apenas se tienen datos que posibiliten un conocimiento aproximado de cómo debía ser su cerebro, pero sí se tienen muchas informaciones referentes al cuerpo y al comportamiento de este animal.

En la clasificación de los dinosaurios, el apatosaurio pertenece al suborden de los Saurópodos (gigantes entre gigantes) y a la familia de los Diplodocus, todos muy grandes. El apatosaurio pudo llegar a pesar casi 35 toneladas, por lo que necesitaba una inmensa columna vertebral con 80 vértebras para sostener todo ese peso; sólo la cola tenía 50 huesos.

El apatosaurio medía casi 20 metros de largo, desde la cabeza hasta la cola. Las patas anteriores estaban ligeramente reducidas respecto de las posteriores; su enorme peso, que difícilmente le habría permitido moverse sobre la tierra firme, ha hecho pensar que este animal viviría casi sumergido por las aguas en pantanos o lagos, como parecen demostrar las huellas que han quedado en los fondos pantanosos lacustres. Y esta hipótesis está también avalada por el hecho de que tenía la nariz sobre la cabeza, que, de esta forma, sobresalía del agua para tomar oxígeno.

Un gran vegetariano "obtuso" A pesar de ser uno de los mayores animales terrestres que jamás hayan existido, era herbívoro y, como muchos animales que se alimentan de plantas, muy sociable, estimándose que debía de vivir en grupos. El brontosaurio, que se nutría de las plantas tiernas de las zonas pantanosas, tenía dientes débiles; por ello, en el estómago tenía piedras, o *gastrolitos*, probablemente tragados junto a la comida, que le ayudaban en la digestión frotando una con otra las grandes fibras o cortezas de las plantas, a modo de muelas de molino dispuestas en su interior.

Los científicos deducen que, siendo tan grande, el brontosaurio no habría podido vivir jamás sobre la tierra seca sin dañar sus órganos internos con ese andar pesado sobre el terreno y, como el moderno hipopótamo, tuvo que haber pasado la mayor parte del tiempo caminando en el agua.

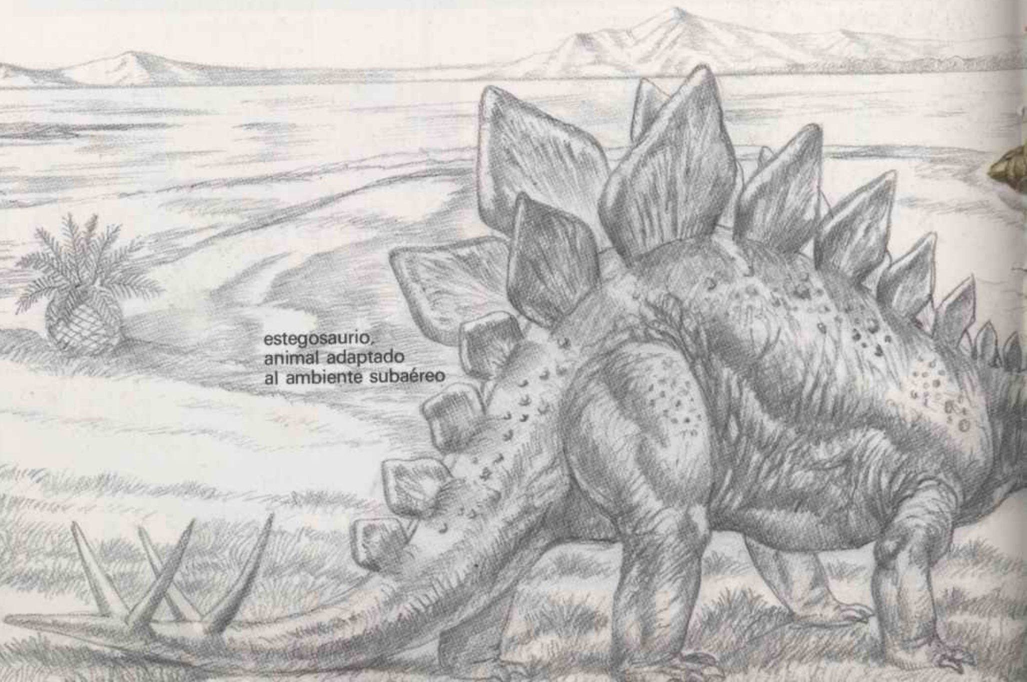
El brontosaurio tenía en la planta de los pies dos cojinetes naturales —a modo de raquetas de nieve—, de forma que sus pies se expandían cuando el peso se apoyaba sobre ellos, impidiendo que el animal quedase hundido en el barro.

El mayor desconocimiento por lo que se refiere al brontosaurio concierne al desarrollo de su cerebro, pero los paleontólogos poseen ahora una fuente primordial para llenar ese vacío gracias al cráneo recientemente descubierto, que ha permitido reconstruir una imagen completa, de la cabeza a los pies. Con ello, además, se daría un gran paso hacia adelante en el conocimiento de lo que fue la vida primaria sobre la Tierra.

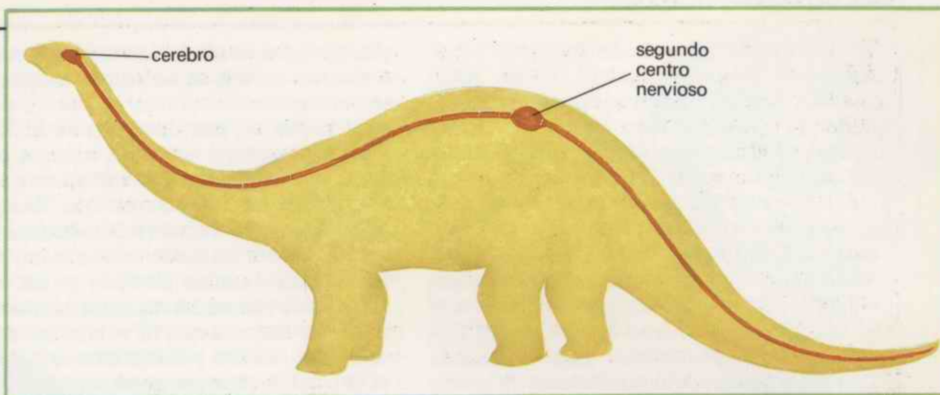
Véase **Archaeopteryx; Cretácico, período; Dinosaurio; Jurásico, período; Mesozoica, era**

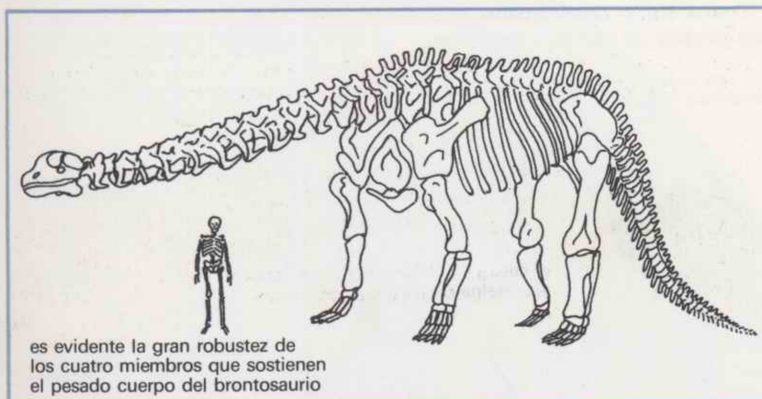


El imponente brontosaurio es uno de los grandes saurios de la era Secundaria o Mesozoica, presentes en distintas partes del mundo y de los que se encuentran restos en los sedimentos del Jurásico y Cretácico inferior. Abajo, y a modo de comparación, la figura no menos imponente del *estegosaurio*, con la espalda recubierta por grandes escamas óseas. Las dimensiones del brontosaurio (cuyo nombre más preciso es *apatosaurio*) no son las mayores entre las de los dinosaurios: el diplodocus alcanzaba los treinta y cinco metros de largo, mientras que el brontosaurio apenas superaba los veinte metros, pero, con una mole mucho más maciza, llegaba a más de treinta y cinco toneladas de peso. Como en todos los dinosaurios, se observa que sus patas anteriores son mucho más pequeñas que las posteriores (en el estegosaurio la separación también es mayor). Unos "cojinetes" callosos debajo de los pies se ensanchaban para evitar que el gigante quedase atrapado en el lodo de las ciénagas donde vivía.



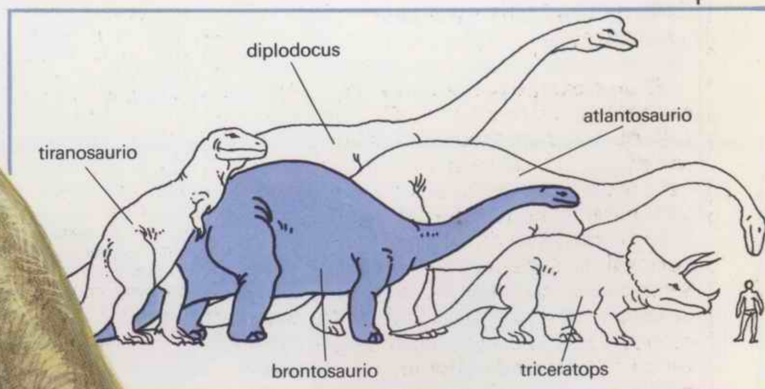
A la derecha, el perfil de un brontosaurio con el cerebro pequeño y la larguísima médula dorsal. La cabeza del brontosaurio tiene los ojos y la nariz desplazados hacia arriba, como se da en los animales que pasan la mayor parte del tiempo en el agua. El cuello tan largo es útil tanto para poder moverse en aguas profundas como para poder girar rápidamente la cabeza. Pero una espina dorsal tan larga hubiera exigido, consecuentemente, tiempos de reflejo muy largos, si no fuese por la ayuda de un centro nervioso localizado en la parte posterior del animal. Este dibujo en sección pone en evidencia la distribución de los pesos en las distintas partes del cuerpo: el peso máximo es el del tronco.




es evidente la gran robustez de los cuatro miembros que sostienen el pesado cuerpo del brontosaurio

A la izquierda de estas líneas, comparación entre el esqueleto de un brontosaurio y el de un hombre. Es evidente la robustez de los huesos de este saurio, tanto en las patas anteriores como en las posteriores, así como de las vértebras del cuello. Abajo, comparación entre las dimensiones de los mayores saurios: en primer plano, de izquierda a derecha, tiranosaurio, brontosaurio, triceratops. En segundo plano, dos saurios de mayor talla, el diplodocus y el atlantosaurio. Los grandes saurios alcanzaron su máximo desarrollo durante la era Mesozoica y fueron los animales predominantes en todos los ambientes, con extrordinaria variedad de formas. Al final de dicha Era los grandes reptiles experimentaron una marcada regresión, extinguiéndose numerosas formas.

tronco con gran flotabilidad



cola apta para la natación

pies adaptados a la deambulación por terrenos pantanosos

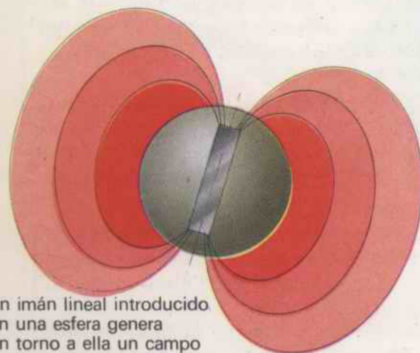
La brújula, o compás de variación, es un instrumento utilizado desde hace cientos de años por los navegantes, exploradores y viajeros para orientarse durante sus travesías cuando no disponían de ninguna referencia astronómica. Sus orígenes se pierden en el tiempo. En la antigua Grecia ya se conocía una piedra que poseía la propiedad de atraer algunos metales, y que llamaron *magnetita* por haberse encontrado por vez primera junto a la ciudad de Magnesia, en el Asia Menor. Durante siglos, este material —que hoy sabemos está compuesto por óxidos de hierro (fe_2O, y FeO)— no pasó de ser en el mundo mediterráneo una curiosidad motivo de diversión.

Se cree, sin embargo, que los navegantes chinos ya sabían en el siglo tercero anterior a nuestra Era que una aguja de este mineral suspendida por su centro mediante un hilo, o colocada sobre un pedazo de corcho que flotaba en un recipiente lleno de agua, se orientaba siempre en una determinada dirección, que parecía coincidir con el norte geográfico. Es muy posible que fueran los árabes los que introdujeran en Europa, durante los siglos XI y XII, este rudimentario instrumento, que, perfeccionado en los siglos posteriores, recibió el nombre de *brújula*, derivado del italiano *bussola*, por construirse inicialmente encerrada en una caja de madera de boj.

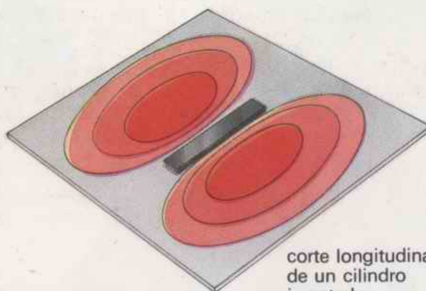
El magnetismo terrestre Como en muchos casos, la aplicación práctica de un fenómeno físico había precedido con mucho al descubrimiento de las leyes que lo rigen. Así, los antiguos conocían que la atracción ejercida por una barra de magnetita (imán natural) sobre el hierro es nula en el centro de la barra y máxima en sus extremos. A los puntos opuestos los denominaron polos *norte* y *sur* por similitud con los polos geográficos, y se sabía que el carácter de estos polos no era el mismo: dos imánes se repelían por polos del mismo nombre y se atraían por sus polos contrarios. Sin embargo, los científicos no encontraron una explicación acertada de la constante orientación de la brújula hasta el año 1600, en que W. Gilbert se dio cuenta de que era debida a que la Tierra se comportaba como un gigantesco imán que, en forma de barra cilíndrica, estuviese situado en una dirección cercana al eje de rotación.

El origen del magnestismo de la Tierra no está totalmente aclarado, aunque parece ser el resultado de un complejo proceso magneto-hidrodinámico que tiene lugar en el núcleo terrestre. Se sabe que este núcleo está formado por una parte interior sólida (núcleo interno) y una exterior fluida y buena conductora (núcleo externo), de manera que la velocidad de rotación del núcleo y del manto son distintas, produciéndose remolinos en el núcleo externo que dan lugar a corrientes eléctricas de origen térmico y hacen actuar a la Tierra como una dinamo autoexcitada que genera un campo magnético.

La brújula magnética Las brújulas basadas en el magnetismo terrestre utilizan una aguja imantada que se comporta como la magnetita. El centro de la aguja está unido mediante un eje al centro de un disco con una escala graduada entre 0° y 360° y con la posición de los puntos cardinales. Si la brújula se mantiene inmóvil, con la aguja paralela al suelo, la fuerza del polo norte magnético atraerá al extremo sur de la aguja y viceversa, orientándose en dirección Norte-Sur. Cuando se gira el disco de forma que el signo correspondiente al Norte coincida con la dirección de la aguja, el resto de los signos sobre el disco indican las direcciones de los distintos puntos cardinales. En las brújulas marinas la horizontalidad de la aguja se



un imán lineal introducido en una esfera genera en torno a ella un campo similar al terrestre



corte longitudinal de un cilindro imantado

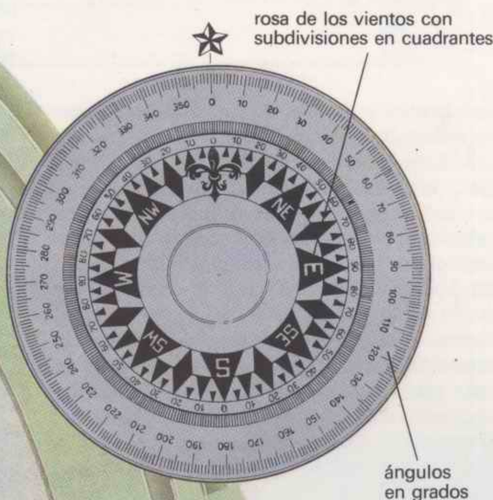
aguja magnética

Arriba, en el recuadro sobre estas líneas, una sección plana del campo magnético creado por un largo cilindro de un material imantado longitudinalmente; en el dibujo se representan las líneas de fuerza del espacio que lo rodea.
En el año 1600, el científico W. Gilbert descubrió que la Tierra se comporta como si tuviese en su interior un gigantesco imán en forma de cilindro situado en el eje de rotación terrestre. Una pequeña aguja imantada, situada dentro del campo magnético terrestre con libertad de movimientos, se orientará según la dirección de dicho campo. Si la brújula es obligada a moverse en un plano horizontal, la dirección que indica es aproximadamente la norte-sur.
La brújula magnética es una aplicación práctica de este fenómeno físico.

consigue mediante un sistema de suspensión tipo Cardan que compensa los balanceos y cabeceos de los buques.

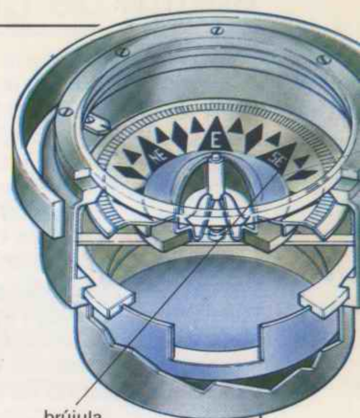
Este tipo de brújulas, aunque ha sido y sigue siendo de gran utilidad y de uso muy extendido, no puede utilizarse cuando se requieren medidas de gran precisión. La razón es que los polos magnéticos no se encuentran sobre los polos geográficos sino a casi 2.000 km de ellos. Como la aguja imantada apunta en dirección a los polos magnéticos, se está produciendo un error, a veces considerable. El ángulo formado por la dirección del Norte verdadero y el que marca la brújula se denomina *ángulo de declinación*, y varía para cada lugar de la superficie de la Tierra. Así, sucede que mientras en Estocolmo o Florida la brújula no da error, en lugares como la Patagonia o el norte de California la desviación es del orden de 20°. En España el error cometido por este tipo de brújulas es pequeño. En la parte más occidental de Galicia la aguja marca 10° al Oeste del punto donde realmente se encuentra el Norte, mientras que en Gerona la desviación es de sólo 5°. Las líneas de igual declinación (*isógonas*) están recogidas en un mapa de declinaciones para toda la Tierra que permite a los navegantes corregir los errores de la medida. No obstante, al norte del Círculo Polar Artico y al sur del Antártico la declinación es tan grande que las brújulas magnéticas dejan de ser útiles.

Una dificultad adicional es que las declinaciones varían lentamente con el tiempo como resultado de pequeños pero continuos desplazamientos de los polos magnéticos. En Londres, ciudad de la que se dispone de medidas desde 1580, la declinación, que era del 11°E en esa fecha, pasó por el 0° en 1657 y en 1805 llegó a ser 25°W, comenzando desde entonces a disminuir de nuevo. En la actualidad, en España el valor absoluto de la declinación está disminuyendo del orden de 1° cada nueve años.



Brújula giroscópica Como se ha mencionado, la brújula magnética dista mucho de ser un instrumento perfecto; no puede utilizarse en las regiones árticas, las cartas correctoras deben ser actualizadas cada cierto tiempo como consecuencia de las variaciones temporales de la declinación, y su laborioso manejo limita la rapidez de la medida. Además, están expuestas a campos magnéticos distintos del terrestre y de muy diverso origen (imanes, cables por donde pasa corriente eléctrica, grandes masas metálicas, etc.), que pueden producir importantes desviaciones en la aguja.

Los mencionados inconvenientes llevaron, a mediados del siglo pasado, a las autoridades navales inglesas a crear una comisión que estudiara un procedimiento de orientación que evitara el uso de las brújulas basadas en el magnetismo terrestre, aunque sin demasiado resultado.



En el centro de las dos páginas, la esfera de una moderna brújula de campaña. Actualmente, se marcan sobre la esfera los puntos cardinales, subdividiéndose toda ella en grados, empezando desde el Norte. A la derecha, una brújula de navegación. Está montada sobre una suspensión de tipo Cardan, que la mantiene horizontal aunque el barco oscile. Su esfera (abajo), además de la división en grados, tiene la tradicional "rosa de los vientos".

A principios del siglo XX, y casi simultáneamente, un científico norteamericano, Elmer Sperry, y un inventor alemán, Hermann Anschutz-Kampfe, idearon una brújula que se mantiene constantemente indicando el Norte geográfico. Se denominó *brújula giroscópica*, *girobrújula* o *girocompás* porque su principio se basa en la propiedad que posee cualquier cuerpo que gira de mantener invariable la dirección de su eje de rotación, compensando las desviaciones ejercidas por fuerzas exteriores. Un giróscopo es un sólido con simetría de revolución que gira alrededor de un eje que pasa por su centro de gravedad (por ejemplo, una rueda o una peonza). El movimiento de rotación de la Tierra ejerce sobre un giróscopo de eje horizontal, situado en cualquier punto de la superficie, una fuerza que lo obliga a orientarse en la dirección del meridiano del lugar, facilitándonos la dirección del Norte verdadero.

En este tipo de brújula, el giróscopo, movido por un motor que mantiene una velocidad adecuada de rotación, va inmerso en un líquido que amortigua hasta eliminar las oscilaciones del eje. El conjunto va suspendido en el interior de un armazón lleno de fluido que absorbe las vibraciones y los golpes que normalmente se producen en los barcos y aviones, asegurando la estabilidad de todo el sistema. Con la ayuda de mecanismos que corrigen las desviaciones del eje del barco o avión con respecto a la dirección del eje del giróscopo, se puede mantener automáticamente el rumbo de la nave.

Aunque no totalmente exenta de errores, la brújula giroscópica mejora la precisión de las magnéticas. No obstante, su compleja construcción, y su elevado precio y la dificultad de necesitar una continua alimentación eléctrica que mantenga el giróscopo en movimiento hacen que su uso esté por ahora limitado a grandes barcos y aviones, y para el guiado de misiles y cohetes a lo largo de miles de kilómetros alrededor de la Tierra.

Véase **Campo magnético; Electromagnetismo; Magnetismo; Tierra**

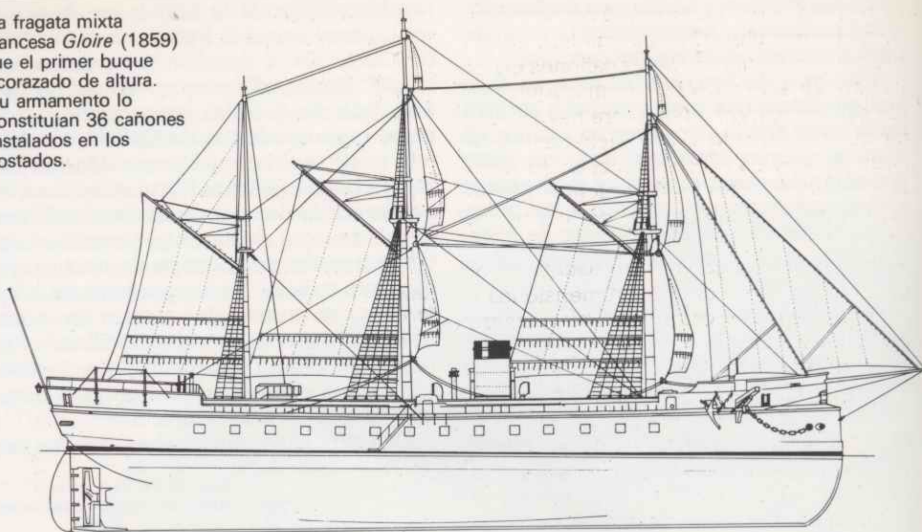
Buque de guerra

El buque de guerra es el principal instrumento de la Marina de guerra de una nación, cuyas principales misiones son: defender las costas nacionales contra un ataque aislado o una invasión, eliminar o neutralizar las fuerzas navales hostiles y llevar la acción militar propia a regiones o países alejados. Se trata de buques de singulares cualidades (velocidad, maniobrabilidad, autonomía, resistencia, etc.) caracterizados por una acusada especialización de las misiones a ellos asignadas, para cuya realización utilizan los más sofisticados sistemas de armamento.

Su historia El desarrollo de los buques de guerra a través de los siglos ha sido paralelo a los avances técnicos aplicados a la navegación y al desarrollo armamentístico. Desde los tiempos de los grandes faraones egipcios hasta el alto Medievo, los combates navales se realizaban con embarcaciones de madera de dimensiones bastante reducidas y con propulsión mixta a vela y remo. Sólo la introducción del *rostro*, o espolón, puesto bajo la proa para hendir con el choque los cascos de las naves adversarias, diferenciaba las antiguas batallas navales de los combates terrestres de la época. En efecto, si la difícil maniobra de embestir con el espolón no tenía éxito, las naves maniobraban para colocarse una a lo largo del costado de la otra, enganchándose por medio de garfios de abordaje, a continuación de lo cual los marineros asaltaban la nave enemiga enzarzándose en feroces combates cuerpo a cuerpo.

La introducción de las armas de fuego en Europa hacia la mitad del siglo XIV condujo rápidamente a cambios radicales en la construcción de las naves de guerra y en su modo de combatir. Espingardas, culebrinas y cañones se montaron primero sobre la proa y después a lo largo de los costados de la nave, permitiendo combatir a distancias que se hacían mayores a medida que aumentaba la potencia y precisión de las armas de fuego embarcadas, pero quedando todavía en el orden de pocas decenas o centenas de metros.

Un *galeón* del siglo XVI era una nave, siempre de madera, ya de notables dimensiones, con dos sobreestructuras algo más elevadas a proa y a popa llamadas, respectivamente, *castillo* y *alcázar*. Remos y remeros habían desaparecido y la propulsión se confiaba tan sólo a un sistema de velas mucho más complejo que el utilizado hasta entonces, articulado sobre dos o tres árboles verticales y otro casi horizontal, colocado a proa y llamado *bauprés*. En el casco, a ambos costados, venían dispuestas una o dos líneas de esco-

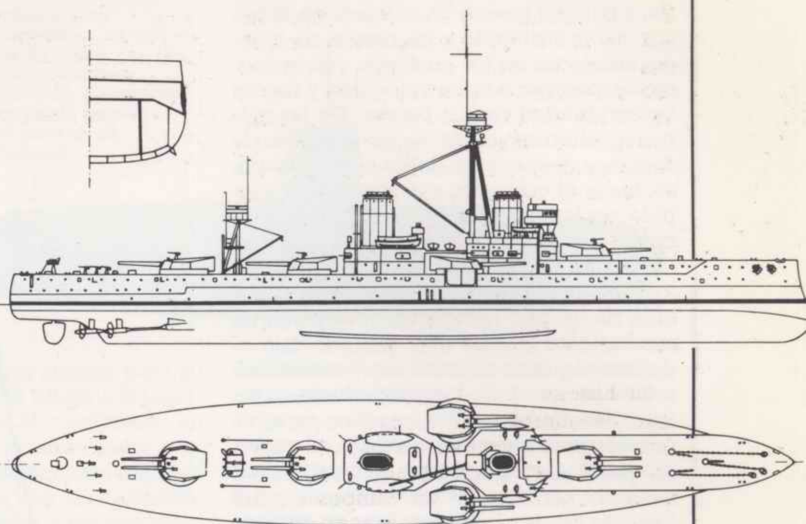


La fragata mixta francesa *Gloire* (1859) fue el primer buque acorazado de altura. Su armamento lo constituían 36 cañones instalados en los costados.

El crucero "todo-puente" inglés *Invencible* es el prototipo de una nueva categoría de buques de guerra dotados de helicópteros y aviones de despegue vertical corto (*STOL*) con características intermedias entre el crucero y el portaviones ligero. Lleva aparatos tipo *Harrier* ("Matador"), que para el despegue corto utilizan un trampolín de lanzamiento, semejante al usado para el salto con esquíes, y va dotado con misiles antiaéreos para la propia defensa; tiene más de 200 m de eslora y desplaza casi 20.000 toneladas.

tillas, y de cada una de ellas sobresalía la boca de un cañón. Una andanada, o sea, la descarga simultánea de los cañones de un mismo costado o borda de un buque, podía averiar gravemente a otra nave y matar buena parte de la tripulación antes de llegar al abordaje, cuya práctica se mantuvo como conclusión de muchos enfrentamientos hasta el final del período de la vela.

Bien pronto el galeón fue sustituido por el *navío*, barco de grandes dimensiones y propulsión a vela, con un notable número de éstas y armado con varias hileras de cañones. La nave almirante de sir Francis Drake en 1588, el galeón inglés *Revenge*, llevaba 40 cañones y tenía una tripulación de 250 hombres. El *Victory*, que fue el barco en el que murió Nelson en la batalla de Trafalgar (1805) y que hoy se conserva en Portsmouth, Inglaterra, era un navío de 104 cañones distribuidos en tres hileras, correspondientes a otros tantos puentes de la nave. Los grandes navíos del siglo XVIII se identificaban como naves de línea por cuanto constituían la línea de batalla en los encuentros entre flotas. En el período de mayor esplendor de la vela, se desarrollaron asimismo numerosos tipos de buque más pequeños que los navíos, para asumir misiones como la exploración, la ejecución de operaciones contra y en defensa del tráfico comercial, el bombardeo de fortificaciones costeras, etc. Los más importantes y difundidos fueron, en orden decreciente de tamaño, la *fragata*, la *corbeta* y el *cañonero*.



El buque de guerra británico *Dreadnought* (1906), de 160 m de eslora y 25 de manga, tenía un desplazamiento de 18.200 toneladas y podía desarrollar una velocidad de 21 nudos. Iba armado con diez cañones de 305 mm y su blindaje de acero alcanzaba los 28 cm de espesor en los costados, a la altura de la línea de flotación.

El período que va desde la mitad del siglo XVI hasta el término de las guerras napoleónicas, al comienzo del siglo XIX, se caracterizó por los cruentos combates entre grandes escuadras de buques de vela de todo tipo y por el progresivo aumento del poderío naval inglés.

La Revolución Industrial proporcionó inventos y nuevas tecnologías que en poco tiempo cambiaron por completo las características técnicas y de empleo de los buques de guerra. Las primeras naves movidas por máquinas de vapor aparecieron al comienzo del siglo XIX, pero tuvieron que transcurrir más de cincuenta años para que el empleo de la propulsión mecánica, todavía combinada con el aparejo a vela, llegara a ser de uso general a bordo

de la flota de guerra. En el intervalo, la hélice había sustituido a las ruedas de paletas instaladas en los costados, con importantes ventajas para la velocidad y menor vulnerabilidad de los barcos. De las máquinas alternativas de vapor (primero de simple y después de doble efecto) se pasó, hacia el comienzo del siglo XX, al empleo de las turbinas de vapor. El primer barco en utilizarlas fue el inglés *Turbinia* (1897), que alcanzó los 34 nudos, una velocidad asombrosa para la época. Se trataba de un tipo de aparato-motor con un rendimiento mucho más elevado que el de las máquinas alternativas, y sustancialmente ha quedado inmutable hasta nuestros días. En efecto: los aparatos-motores nucleares se valen de turbinas normales movidas por el vapor generado por calderas de combustible atómico, y las turbinas de gas existentes hoy en muchos buques de guerra funcionan según los mismos principios (utilizando gas a alta presión y temperatura en vez de vapor).

También las tácticas de combate cambiaron radicalmente en el curso del siglo XIX. La práctica del abordaje fue abandonada y los enfrentamientos entre flotas navales o buques aislados se convirtieron en duelos de artillería llevados a cabo a distancias cada vez mayores, con el constante aumento de la potencia, del alcance, de la precisión y de la velocidad de tiro de las armas en dotación. La aparición del cañón de retrocarga y de ánima rayada, que disparaba proyectiles explosivos y no balas inertes, llevó, a partir de 1854, a la construcción de barcos provistos de coraza, que se emplearon por primera vez como baterías flotantes contra las fortificaciones de Sebastopol durante la guerra de Crimea. El primer verdadero acorazado fue el *Gloire*, botado en Francia en 1859. Se trataba de una *fragata mixta* a hélice, de 5.700 toneladas, con velamen auxiliar y casco de madera sobre cuyos costados se aplicaban planchas de hierro de 10-12 cm de espesor. Del *Glorie* a los acorazados con casco enteramente metálico, desprovistos de velas y armados con cañones, no instalados en los costados sino sobre



El hidroala de combate *Pegasus*, de Estados Unidos, puede alcanzar una velocidad máxima de casi 50 nudos, incluso en mar movida, gracias a su sistema automático de estabilización y al empleo de un motor de turbinas de gas de 18.000 CV que origina un hidrochorro. Tiene 40 m de eslora y 8 m de manga, así como un armamento compuesto por un cañón automático —antiaéreo y antinave— de 76 mm y dos lanzadores dobles para misiles superficie-superficie *Harpoon* con más de 100 km de alcance.

torres giratorias, el paso fue relativamente breve. La aparición del inglés *Dreadnought* en 1906 dio vía libre a la construcción de los acorazados modernos, o, con más propiedad, buques de batalla armados con gruesos calibres (381, 406, 460 mm) y protegidos con corazas de acero de hasta 40 cm y más de espesor, que representaron el elemento de fuerza de las principales Armadas hasta que fueron sustituidos en ese papel por los grandes portaviones durante la II Guerra Mundial.

Paralelamente a los acorazados, entre el final del siglo XIX y la primera mitad del XX, se desarrollaron nuevos tipos de buques de guerra. Los más significativos fueron los *cruceros*, que heredaron en buena parte las misiones de las antiguas fragatas de la marina a vela, y los *torpederos*, pequeñas unidades veloces armadas con torpedos que pronto fueron sustituidas por otras de mayor tamaño, los *cazatorpederos* (nacidos para defender las grandes unidades de los ataques de los torpederos, y que se hicieron cargo también del torpedeamiento de buques mayores).

Las unidades sumergibles, después de un período de desarrollo inicial relativamente lento, tuvieron ocasión de confirmar su eficacia en la I Guerra Mundial, paralelamente al progreso de la tecnología en general y de los motores Diesel en particular. Los éxitos de los sumergibles en la II Guerra Mundial y sus más recientes desarrollos, unidos a la adopción de motores nucleares, misiles y torpedos de gran precisión, hacen hoy del submarino un arma muy eficaz. Baste pensar que durante la guerra de las Malvinas (1982) sólo cuatro submarinos atómicos fueron suficientes para bloquear en sus puertos a la totalidad de la flota argentina.

Los modernos buques de guerra Las principales Armadas tienen hoy en servicio numerosos tipos de buques de guerra, con características muy diversas, pero sustancialmente interdependientes. Esto significa que una moderna formación naval se compone normalmente de buques de diferente tipo, cada uno con un preciso papel preferente, pero que se apoyan entre sí para el logro del objetivo asignado a la propia formación naval.

Si el objetivo es el de atacar las costas o la flota adversarias, la formación girará sobre uno o varios *portaviones de ataque*, escoltados por cruceros, cazatorpederos y fragatas para las defensas antiaérea y antisubmarina. Si se trata en cambio de una formación para la defensa del tráfico mercantil, aquélla se compondrá de portahelicópteros y unidades de escolta antiaérea y antisubmarina.

Otra de las numerosas misiones que es posible asignar a una formación naval puede ser la de desembarcar tropas en territorio enemigo; por consiguiente, aquélla estará compuesta por *buques para operaciones anfibias*, que transportan hombres y material, y por *medios de desembarco*, de menor tamaño, destinados a llevarlos a tierra, con la escolta de portaviones, cruceros y unidades ligeras para su defensa y para apoyo de fuego a las operaciones sobre la costa. Normalmente, en todas las formaciones tomarán parte *dragaminas* y *buques auxiliares* para efectuar el abastecimiento en el mar de carburantes, víveres y municiones a las unidades de combate.

El submarino inglés *Conqueron* es una moderna unidad de ataque a propulsión nuclear, armado con torpedos de gran precisión y capaz de alcanzar una velocidad máxima —en inmersión— de más de 28 nudos, con una autonomía casi ilimitada. Su dotación completa supera el centenar de hombres.



Los *submarinos* y las pequeñas unidades veloces costeras (*hidroalas de combate* y *lanchas lanzamisiles*) operan en cambio independientemente.

Los portaviones son los buques de mayor tamaño hoy en servicio. Los grandes *portaviones de ataque* —de propulsión nuclear— de la Armada estadounidense superan los 300 metros de eslora y las 90.000 toneladas de desplazamiento, y pueden poner en vuelo un centenar de aviones.

Otros tipos de unidades dotadas de aeromóviles son los *portahelicópteros* y los *cruceros "todo-puente"* o *portaviones ligeros*, en cuyas cubiertas pueden despegar y posarse una veintena de helicópteros de todo tipo y aviones de despegue vertical/corto (*STOL*). A esta última categoría pertenece el buque inglés *Invencible*, dotado también de un trampolín, semejante al de los saltos con esquíes, para facilitar el despegue de los aviones *STOL* tipo *Harrier* embarcados. El *Invencible*, que desplaza 20.000 toneladas y está armado con misiles para la propia defensa, fue uno de los protagonistas de los combates por las Malvinas en 1982.

Los cruceros están normalmente armados con misiles, helicópteros antisubmarinos y cañones de tiro rápido, pudiendo ser empleados tanto para el ataque a buques de supeficie como para la defensa antiaérea de las formaciones navales. El cazatorpedero es un buque capaz de desplazar 7.000 toneladas y de alcanzar los 33 nudos de velocidad gracias a su motor de turbinas de gas de 80.000 CV. Su armamento comprende lanzamisiles superficie-superficie y superficie-aire, dos cañones automáticos de 127 mm, lanzacohetes, torpedos antisubmarinos y dos helicópteros. En estas modernas unidades está particularmente desarrollada la componente electrónica, compuesta por radar de exploración de superficie y por ecogoniómetros para la detección de submarinos.

Las *fragatas*, a las que se unen para el servicio costero las —más pequeñas— *corbetas* (nombres ambos heredados de la tradición de la navegación a vela), son buques de escolta dotados de las más sofisticadas armas contra todos los medios de ataque del enemigo.

Entre las fragatas particularmente interesantes en servicio se encuentran las italianas tipo *Lupo* y *Maestral*, que, con un desplazamiento de sólo 3.000 toneladas, pueden transportar a una velocidad máxima superior a 30 nudos un notable armamento compuesto de misiles de diverso tipo, un cañón de 127 mm y dos helicópteros antisubmarinos, además de una notable dotación de aparatos electrónicos para la detección, la dirección de tiro de las armas y las comunicaciones.

Las corbetas españolas de las clase *Descubierta*, de proyecto totalmente nacional, han llamado la atención de varias Armadas extranjeras, que han formalizado pedidos de algunas unidades a la Empresa Nacional Bazán, su constructora. Con una eslora de 89 m, 1.400 toneladas de desplazamiento y 27 nudos de velocidad, van armadas con un cañón de 76/62 mm, 6 tubos lanzatorpedos, lanzamisiles de diverso tipo, y está previsto sustituir sus piezas antiaéreas de 40/70 mm por el sistema —también español— *Meroka*. Su equipamento electrónico es asimismo muy completo.

Por lo que respecta a los submarinos, las unidades más modernas hoy en servicio son de propulsión atómica y se dividen en dos grandes categorías: los *estratégicos*, armados con misiles balísticos de cabeza nuclear destinados a su empleo contra el territorio adversario, y los *de ataque*, armados con torpedos y misiles antinave.

Para las operaciones costeras o en mares menores, existen numerosos tipos de pequeñas unidades veloces provistas de misiles y cañones de reducido calibre. Muchas Armadas modestas se sirven casi exclusivamente de hidroalas y lanchas rápidas para la defensa de las costas propias. Se trata de unidades cuya eficacia se basa en su elevada velocidad (en el caso de los hidroalas, puede superar los 50 nudos, incluso con la mar movida), en su potente armamento de misiles y en su relativa economía. Baste pensar que un moderno hidroala de combate tiene una tripulación de una decena de personas, frente a las más de 300 embarcadas en un cazatorpedero, y puede lanzar misiles capaces de hundir o averiar gravemente a un buque de guerra de gran tonelaje.

Véase **Crucero; Portaviones**

Buque mercante

Los buques mercantes surcan los mares desde hace aproximadamente 8.000 años. Hasta hace muy poco, el barco tipo era una embarcación capaz de llevar de todo, desde patatas a personas, carretas e incluso vagones de ferrocarril. Actualmente, siguiendo una tendencia creciente, los barcos se construyen con el fin de satisfacer exigencias de carga específicas.

La idea de transportar suministros por vía acuática tiene, con seguridad, más de 8.000 años y probablemente se remonta al día en que por primera vez el hombre vio un tronco o un revoltijo de ramas arrastrados por la corriente de un río hacia el valle y se dio cuenta de que el transporte de pieles o carne podría ser así mucho menos trabajoso.

Las embarcaciones más antiguas de las que existe documentación no estaban construidas con troncos, sino con cañas. Aparecen representadas en el arte egipcio a partir del año 6000 a. de C. y, en épocas precedentes, en mitos y leyendas originarios del Mediterráneo oriental. Dichas embarcaciones se realizaban con haces de cañas atadas por una cuerda colocada longitudinalmente, que mantenía la popa y la proa levantadas hacia arriba. Esta solución determinó la configuración fundamental de la popa y la proa de las embarcaciones occidentales durante los siglos siguientes.

El versátil junco En China ocurrió al revés: la configuración de las embarcaciones evolucionó directamente desde la canoa "excavada" en un tronco de árbol. Cuando se hizo necesario algo más grande, los constructores tomaron dos de esas canoas, las sujetaron una a la otra utilizando maderas para formar una cubierta, construyeron los flancos, la proa y la popa, y de esta forma consiguieron una de las más robustas y eficientes embarcaciones jamás construidas: el *junco* chino.

Para obtener mayor resistencia, el junco estaba dividido en doce o más compartimentos internos, anticipando el concepto de "cámaras estancas" de los modernos barcos.

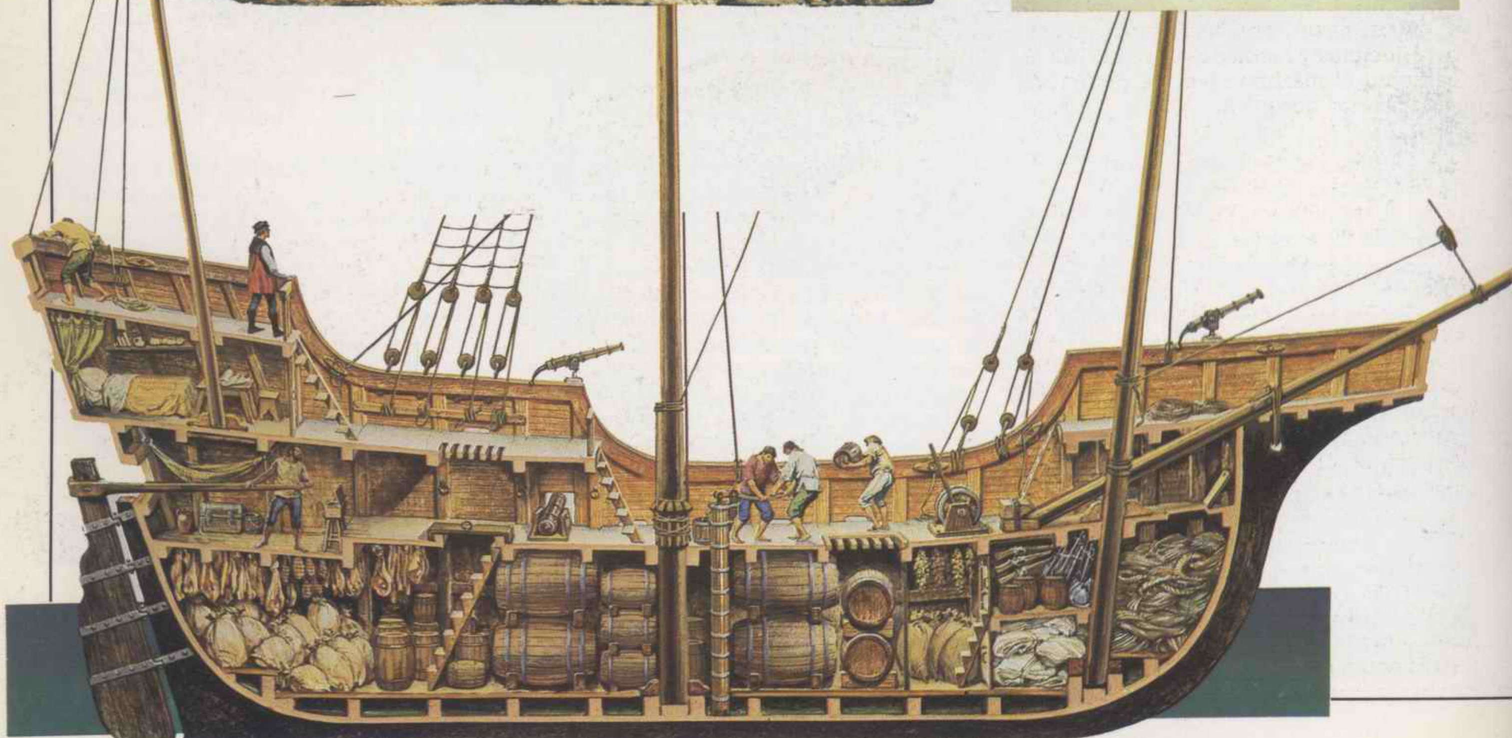
La embarcación construida con cañas sufrió una evolución, ya que, en contra de lo que ocurría en Egipto, en donde no había madera, en otros lugares a lo largo de las costas del Mediterráneo la madera abundaba y era el material de construcción preferido.

Hacia el año 2000 a. de C. los constructores minoicos de Creta eran los más avanzados en la producción de embarcaciones comerciales, mientras que los feni-

Abajo, un bajorrelieve que representa un barco romano destinado al transporte de vino, como se deduce por los toneles visibles detrás de la tripulación. A la derecha, un junco chino de cuatro mástiles, con el característico adorno de proa, que embarcaba una tripulación de 250 hombres. Más abajo, sección de una carabela con las bodegas llenas de mercancías. En la página siguiente: en el centro, barco destinado al transporte de gas licuado en contenedores especiales capaces de mantener temperaturas muy bajas o presiones muy altas; abajo, un moderno petrolero. La flota de metaneros y petroleros constituye hoy más de la mitad de la flota mercante mundial.







cios, que habitaban las costas de lo que hoy son Israel y Líbano, eran los más adelantados viajeros. Comerciaban por el Norte hasta Bretaña, navegaban a lo largo de las costas de Africa y probablemente doblaban ya el cabo de Buena Esperanza.

La energía del viento fue un factor decisivo en la evolución de los buques comerciales; la supremacía correspondió a quien llegó a dominar la técnica de navegar a vela. En la baja Edad Media, esto se dio propiamente con una embarcación vikinga, el *drakar*, que, a través de sucesivas evoluciones, hacia el siglo XV se convirtió en la típica embarcación europea, con la proa ancha y redondeada para disponer de una espaciosa bodega y con un gran calado para tener mayor estabilidad.

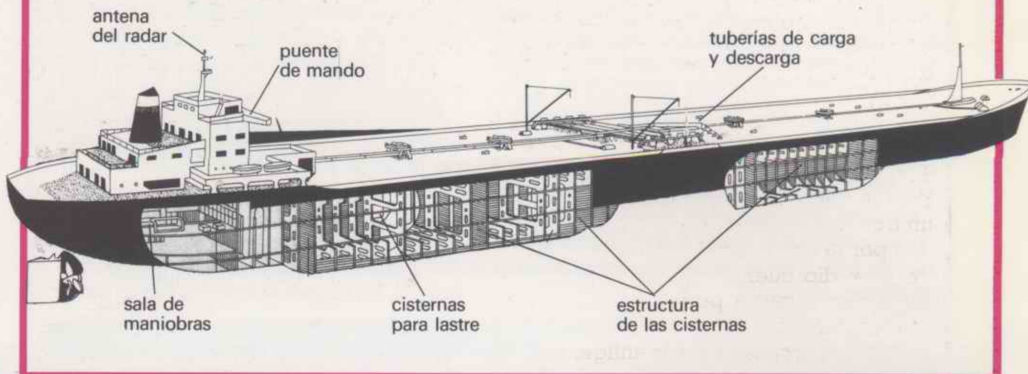
Cuando en la popa se dispuso un timón en sustitución del anterior remo para mantener el rumbo, y otro árbol a proa para aumentar la superficie de las velas, nació la *coca*, prototipo de las embarcaciones mercantiles europeas en los siguientes cuatrocientos años.

De la coca al navío La coca evolucionó al impulso de una embarcación de tipo mediterráneo, conocida como *nave* y aparejada con velas latinas: una gran vela triangular izada en un árbol únicamente, que podía ser utilizada para navegar con viento en popa o extenderse sobre el flanco para la navegación contra el viento. De esta forma nació la *carabela*, un barco de tres mástiles cuya aparición en los mares coincidió con otro gran invento, la brújula magnética, que entre otras cosas ayudó a Cristóbal Colón en su ruta hacia el Nuevo Mundo.

En esta época los barcos mercantes tenían una longitud de casi 30 metros y eran muy eficaces para el transporte de mercancías. Navegaban a través de los océanos, desarrollando el comercio con el Oriente. Fue el tráfico con China el que condujo a la realización de las más bellas y veloces naves, los *China clipper*, que entre principios y mediados del siglo XIX alcanzaron el máximo nivel de perfección en la navegación a vela, estableciendo récord de velocidad durante los viajes de ida y vuelta a Oriente a lo largo de una ruta que doblaba el cabo de Hornos.

El té se había convertido en la bebida preferida en Inglaterra, y la rapidez en la entrega de la cosecha anual era el factor esencial para la supervivencia de las flotas mercantes que competían entre sí. El *clipper*, desarrollado a partir de una embarcación americana muy utilizada en la bahía Chesapeake, de Maryland, representó la solución del problema. Largo y estilizado, con la proa en forma de V y con la popa recortada en forma de U, el *clipper* dominó en los últimos años de la gran época de la vela, alcanzando velocidades que nadie antes hubiese imaginado. Desde el principio, la *Rainbow* marcó la pauta: 6 meses y 14 días desde Europa a Hong Kong y vuelta. Los últimos *clipper* lograban recorrer una media de 650 kilómetros en 24 horas. Los ingleses llevaron este mo-

La especialización más conocida del buque mercante moderno es quizás la del transporte de combustibles líquidos. Este tipo de barco se reconoce por la forma rechoncha del casco y por la colocación de alojamientos, puente de mando y chimeneas en el extremo de la popa. La cubierta está despejada, salvo por lo que se refiere a algunas tuberías y válvulas para la carga y descarga del líquido. Es fundamental la compartimentación interna del casco. Esta es necesaria por dos motivos: el primero es el de robustecer el casco; el segundo, el de impedir que el balanceo produzca el desplazamiento de la cabina.



cisterna de poliestireno

cisterna lateral

delo hasta su máximo desarrollo, utilizando en su construcción estructuras compuestas, como cuadernas de hierro y largueros de madera dura.

El barco de vapor La supremacía de los *clipper* en los mares fue interrumpida por la aparición de los barcos a vapor, cuya introducción supuso una revolución del comercio marítimo. Los barcos a vapor, además de no tener que depender del viento, podían alcanzar dimensiones que superaban con mucho los mayores sueños de los proyectistas de barcos de vela. Una configuración típica de esta clase de navíos fue la del barco inglés *Oceanic*, de 215 metros de longitud, botado a finales del siglo XIX.

A principios del siglo XX los constructores de barcos alemanes alcanzaron la supremacía. Inicialmente su objetivo era la velocidad: el *Deutschland* navegó hacia América a la velocidad media de 23 nudos (casi 42 km/h); después se dedicaron más a las dimensiones: el *Vaterland* (1913), de 54.000 toneladas, medía 276 metros.

Dos mejoras en el campo de la ingeniería de la propulsión fueron las que hicieron posible barcos de tan fantásticas características. La primera fue la aparición de la *turbina de vapor*. En 1897, el inglés Charles A. Parsons, pionero de la turbina de vapor, construyó un barco proyectado por él, el *Turbinia*, que alcanzó la entonces increíble velocidad de 34,5 nudos (63 km/h). La segunda mejora fue el *motor de combustión interna*, alimentado con aceite combustible, como el utilizado en las calderas que estaba perfeccionando en Alemania Rudolph Diesel. Finalmente, el *motor Diesel* se impuso incluso a la turbina de vapor.

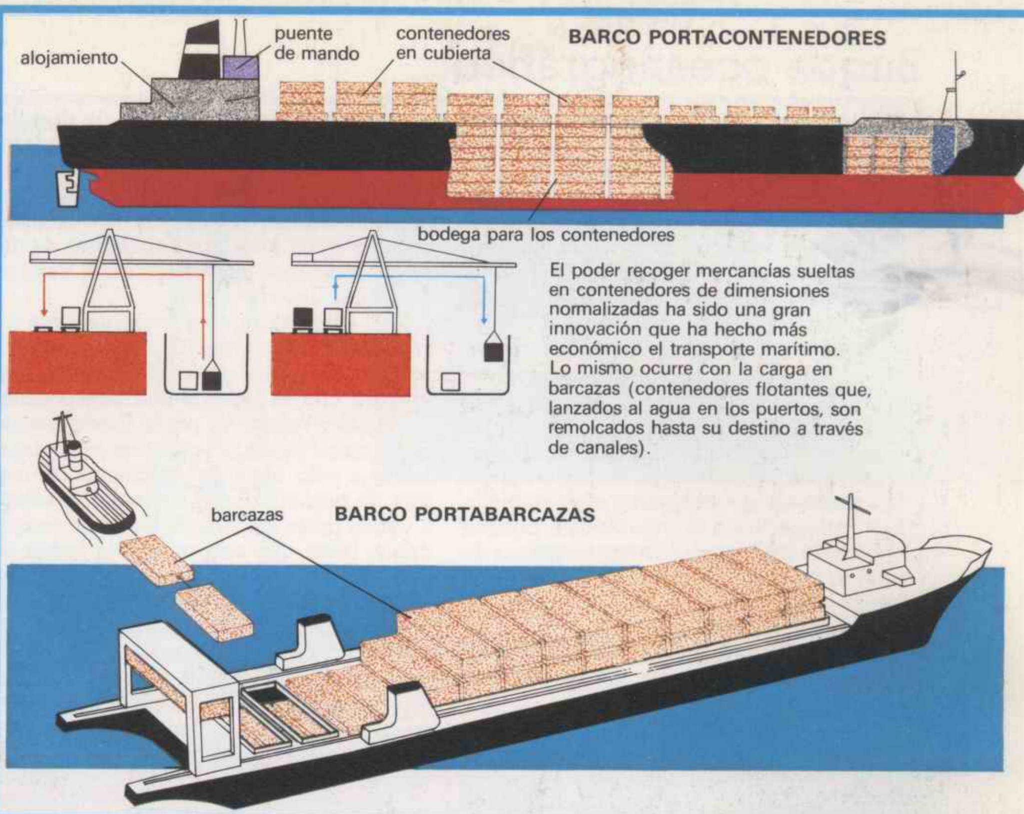
El *Vaterland* se convirtió en uno de los barcos más famosos de la Historia: construido para el transporte de pasajeros entre Europa y América, era capaz de dar cabida a 4.000 personas en compartimentos de cuatro clases. Este barco se encontraba en Nueva York en 1917 cuando los Estados Unidos entraron en guerra. Confiscado como botín de guerra en abril de ese mismo año, se convirtió en el mayor barco para transporte de tropas. Al finalizar la contienda, el *Vaterland* fue exigido como



Los barcos para cargas sólidas deben permitir la minimización de los costes de las operaciones de carga y descarga, que producen paradas en los puertos y requieren mano de obra, a menudo costosa. Por esta razón, los buques de carga suelen tener a bordo grandes grúas, obviando así su falta en los pequeños puertos donde a veces deben fondear. Aquí puede verse uno de esos grandes barcos de transporte.

compensación de guerra por el gobierno de los Estados Unidos, siendo confiado a William Francis Gibbs, famoso arquitecto naval, para ser nuevamente aparejado como transatlántico. Con el nombre de *Leviathan*, dominó los mares durante muchos años como el más grande y veloz barco de pasajeros (a 27,5 nudos, es decir, 51 kilómetros por hora).

El *Leviathan*, lo mismo que otros sucesivos transatlánticos para el transporte de pasajeros, era un barco de prestigio; sin embargo, el comercio mundial estaba confiado a cientos de barcos, lentos y de menores dimensiones, que iban de puerto en puerto llevando carbón, petróleo, cereales, maderas y todo tipo de mercancías.



El poder recoger mercancías sueltas en contenedores de dimensiones normalizadas ha sido una gran innovación que ha hecho más económico el transporte marítimo. Lo mismo ocurre con la carga en barcazas (contenedores flotantes que, lanzados al agua en los puertos, son remolcados hasta su destino a través de canales).

Las necesidades de la guerra Cuando estalló la II Guerra Mundial, muchos de estos barcos estaban ya dotados de motor Diesel, y bajo la presión de las exigencias bélicas se construyeron cientos de ellos. Durante la guerra se desarrollaron también proyectos revolucionarios. Uno de estos fue la *lancha de desembarco*, realizada a partir de un proyecto inglés. Atrincherada en su insularidad, Inglaterra se encontró con la necesidad de disponer de barcos capaces de transportar vehículos motorizados y descargarlos velozmente en los lugares de destino. Las lanchas de desembarco satisfacían esta exigencia: sus proas consistían en un portón abatible en forma de rampa, a través de la cual los vehículos tomaban tierra directamente en las playas. En su interior había rampas y plataformas giratorias sobre las que camiones, tanques y piezas de artillería podían ser cargados y guiados de uno a otro puente.

Cuando los Estados Unidos entraron en guerra, los astilleros americanos construyeron barcos de la clase *Liberty*, de 134 metros de longitud y un desplazamiento de 10.490 toneladas, con motores de vapor y quemadores de gasoil: un proyecto simple y robusto. El industrial Henry J. Kaiser inventó un método de fabricación que redujo los tiempos de construcción a diez días, a los que había que añadir otros cuatro para la terminación y la entrega.

Al finalizar la guerra habían sido construidos 2.610 barcos de la clase *Liberty*. En total, los astilleros americanos botaron 5.874 barcos mercantes, con un total de 57 millones de toneladas de carga bruta, lo que suponía más de un tercio del total de buques de carga existentes en el mundo al principio de la guerra.

Los progresos de la posguerra Muchos de los barcos construidos habían sido fruto de proyectos especiales para fines concretos, y algunos de ellos sobrevivieron para ser sometidos a nuevos desarrollos en la posguerra. Las lanchas de desembarco, por ejemplo, se transformaron en los actuales *ferry*, con portones de proa y de popa, además de los eventuales portones en los flancos. Una evolución de este proyecto es el *navío portabarcazas*: una enorme grúa situada en la cubierta del barco iza a bordo las barcazas cargadas y las estiba. Una vez llegado a destino, la misma grúa las descarga, dejándolas flotar en el agua, eliminando de esta forma la necesidad de un puerto adecuado para el calado y las dimensiones del barco. Esta es una importante solución a tener en cuenta en muchos puertos del Tercer Mundo.

Una de las realizaciones más acertadas ha sido el *buque portacontenedores* (*containers*), que ha revolucionado el transporte de mercancías por mar. Un barco de este tipo está proyectado para transportar contenedores de dimensiones específicas, —por ejemplo, de 6×2,5×2,5 m— que llegan al muelle ya cargados. Este tipo de expediciones preempaquetadas fue utilizado durante la guerra para ganar tiempo y costes de almacenamiento. Su ventaja consiste en que los contenedores pueden ser transportados por carretera o por ferrocarril desde prácticamente cualquier lugar del interior hasta el puerto, e inmediatamente ser cargados a bordo del barco. En el puerto de llegada, son desembarcados directamente sobre camiones o trenes y enviados hacia sus respectivos puntos de destino. Como a lo largo de este proceso nunca se abren los contenedores, las pérdidas se reducen al mínimo y los costes de almacenamiento prácticamente se eliminan.

Supercisternas Los buques-cisterna, naves mercantes altamente especializadas, vienen utilizándose desde principios de siglo, pero sólo después de la II Guerra Mundial han alcanzado grandes dimensiones.

Los superpetroleros actuales superan las 400.000 toneladas de capacidad y los 350 metros de longitud. Aprovechando el principio según el cual cuanto mayor es la longitud del barco, más hidrodinámico resulta, estos barcos permiten un ahorro de combustible. En su contra, presentan el inconveniente de que son difíciles de maniobrar y pueden partirse en dos con mar muy agitado.

Debido a las enormes cantidades de petróleo que transportan, representan también un grave peligro para el medio ambiente en caso de naufragio. Pero su economía de gestión empuja a planear modelos aún más grandes para el futuro: buques cisterna de un millón de toneladas o incluso más están en fase de estudio, habiendo previsto que las operaciones de carga y descarga sean efectuadas en estaciones de fondeo alejadas de la costa y equipadas con bombas y oleoductos para el trasvase del petróleo.

Otro tipo de buque-cisterna es el concebido para el transporte de gas natural líquido a baja temperatura (-162 °C), en depósitos aislados de aluminio. Se está estudiando también la posibilidad de utilizar buques-cisterna para el transporte de cargas mixtas, como mineral de hierro triturado o carbón mezclado con agua para poder ser conducido a través de tuberías en forma de fango. El buque-cisterna *Manhattan* fue aparejado como rompehielos para experimentar la posibilidad de llevar el petróleo desde Alaska a los puertos de consumo. Sin embargo, resulta una construcción muy costosa: se necesitan refuerzos especiales para navegar a través de los hielos —rompiéndolos sólo con el peso del barco—, además de protecciones en el casco para soportar los continuos choques contra los grandes bloques helados y resguardar las hélices, cuyas palas, en todo caso, han de poder sustituirse en alta mar en caso de rotura.

Buque oceanográfico

El buque oceanográfico es uno de los tipos de barco más altamente especializado. Al ser la Oceanografía un conjunto de ciencias, los barcos de investigación oceanográfica deben estar equipados para poder trabajar en varios campos: la Meteorología, la Química, la Biología, la Geofísica, todos ellos en relación con el estudio del ambiente marino.

El primer barco dedicado al estudio de los océanos fue el *H. M. S. Challenger*, cedido por el Almirantazgo británico, a mediados del siglo XIX, para un programa de exploración de las profundidades marinas financiado por la Royal Society inglesa. Los objetivos del programa eran ambiciosos: recoger toda la información posible acerca de las profundidades oceánicas de todo el mundo y de esta forma superar la ignorancia existente en la época sobre la composición de los mares, las corrientes marinas y la vida animal y vegetal presente en los océanos. Era la mayor exploración jamás intentada hasta entonces, una experiencia que habría por fin convertido a la Oceanografía en una ciencia por derecho propio.

El *Challenger* era un barco especialmente concebido para este propósito. Era una corbeta completamente equipada, de 2.306 toneladas, con un motor auxiliar de vapor, que durante cuatro años navegó alrededor del mundo, iniciando la travesía el 7 de diciembre de 1872 y finalizándola el 26 de mayo de 1876. Fueron necesarios veinte años para catalogar toda la información recogida por su tripulación y por los científicos que iban a bordo. Cuando al fin fue publicada, en 50 grandes tomos, quedaron establecidos los fundamentos de la Oceanografía como ciencia.

Las razones prácticas Existían muchas razones de índole práctica que imponían la necesidad de recoger estas informaciones, y diversas naciones estaban dispuestas a organizar expediciones por su cuenta. Las comunicaciones mundiales estaban ya reduciendo las distancias del Globo mediante cables submarinos, para cuya colocación era imprescindible conocer la topografía de los fondos oceánicos. Las corrientes, las condiciones meteorológicas y la vida en los mares eran también campos cuyo conocimiento se hacía necesario por diversos motivos.

A partir de 1877 Alexander Agassiz, zoólogo de la Marina estadounidense, realizó el mapa topográfico de 26.000 km^2 del fondo marino en aguas tropicales, con el fin de disponer de una detallada representación del mundo sumergido. Además, inventó redes normales y redes de arrastre que podían abrirse y cerrarse a determinadas profundidades para recoger seres vivos de los abismos marinos.

Uno de los más entusiastas mecenas de la Oceanografía en sus orígenes, durante el siglo XIX, fue el príncipe Alberto I de Mónaco. Cedió su propia flotilla de yates como barcos de investigación y fue un pionero en el empleo de cebos, redes de arrastre, redes normales y luces eléctricas para atraer especies marinas de distintas profundidades; además, inventó flotadores de cobre para seguir el recorrido de las principales corrientes atlánticas. Cada uno de estos flotadores contenía instrucciones en nueve idiomas que explicaban su objeto e indicaban qué hacer en el caso de encontrar uno de ellos.

Los enigmas que se presentaban a los investigadores se multiplicaron en el siglo actual con la aparición de la ecosonda, aparato con el que podían interpretarse las señales reflejadas por el fondo marino. En algunos casos la ecosonda indicaba el fondo a sólo unos pocos cientos de metros de profundidad, y en realidad estaba a varios miles de metros. Esto era inexplicable, hasta que se propuso la teoría de que el reflejo no procedía del fondo sino de enormes bancos de peces u otros organismos que se encontraban a distintas profundidades entre la superficie y el fondo. En los años sesenta el batiscafo *Trieste* y el submarino *Alvin*, de la Marina estadounidense, confirmaron esta hipótesis con fotografías de enormes concentraciones de vida submarina.

Un barco típico En los años cincuenta de nuestro siglo el concepto de "barco especializado en investigaciones oceanográficas" era ya claro, y en los años setenta había unos 500 buques de este tipo en el mundo, normalmente utilizados por entidades gubernamentales o grandes instituciones académicas.

Un típico barco de investigación debería medir unos 70 metros, tener un gran calado para garantizar la máxima estabilidad y poseer un bajo perfil sobre la línea de flotación para minimizar los efectos del viento. Debe tener una cubierta espaciosa (con zonas de trabajo que puedan dar cabida a maquinaria, grúas y otros equipos), laboratorios para analizar y conservar los ejemplares capturados, gran autonomía de navegación para viajes largos, equipos para mantener el rumbo a bajas velocidades y la posibilidad de navegar en absoluto silencio mediante motores eléctricos alimentados por baterías.

Son también necesarios cabrestantes, grúas y aparejos destinados a las operaciones de fondeo (movimiento de anclas), lanzamiento de redes y flotadores, elevación de pesos, etc. Para el anclaje en alta mar se utilizan cables de acero inoxidable de más de 9.000 metros de longitud, incluso más largos cuando se trata de depositar equipos en el fondo.



El *Glomar Challenger* (en el dibujo y en la foto a la derecha) es el buque oceanográfico más perfeccionado actualmente en servicio. Es capaz de realizar perforaciones a profundidades muy grandes: la perforadora llega hasta 1.219 m por debajo del fondo marino, que a su vez se encuentra a una profundidad de aproximadamente 6.000 metros. En la página anterior y en ésta (abajo, a la izquierda), los tubos de perforación en la cubierta del barco; a la derecha, la cabeza de mástil giratoria.

torre de perforación

sala de cálculo y control

laboratorio de análisis

grúa de 45 tm

grúa de 13,5 tm

depósito para el fango de perforación

hélices estabilizadoras

sonar

tubos de perforación almacenados







B. M. Cita

Probablemente el más famoso buque de investigación oceanográfica sea el *Calypso*, armado y equipado por el experto buceador francés Jacques Yves Cousteau. El *Calypso* ha sido realizado a partir de un dragaminas de guerra de 43 metros de longitud y 7,3 metros de anchura, construido en madera con doble casco y con un costillaje muy robusto que le proporciona gran resistencia. El *Calypso* tiene una falsa proa que contiene una cámara de observación subacuática, dotada de cinco ventanas y situada a 2,5 m por debajo de la línea de flotación. De esta forma los miembros de la tripulación pueden realizar observaciones mientras el barco navega. En el extremo opuesto, un doble mástil, realizado en metal ligero, se extiende hacia fuera para permitir observaciones por encima de la superficie.

Equipos submarinos avanzados Además de las usuales grúas y de los laboratorios, el *Calypso* posee avanzados equipos submarinos. A bordo hay al menos veinte equipos de inmersión para el experto grupo de buceadores, dos *scooter* subacuáticos para remolcar a los buceadores, un submarino de cabina abierta para llevar a los buceadores dotados de autorrespiradores, dos minisubmarinos para inmersiones a gran profundidad, lanchas fueraborda para el transporte de personal, botes *Zodiac* inflables y numerosas máquinas fotográficas de diversos tipos (quince submarinas, seis de superficie y unas cuantas cámaras especiales para grandes profundidades). El *Calypso* dispone además de sistemas de televisión en circuito cerrado, de numerosas instalaciones de luces submarinas y de muchos metros de conexiones eléctricas subacuáticas. Un teléfono de ultrasonidos permite las comunicaciones con los buceadores y los minisubmarinos. Hay además aparatos registradores en cinta magnética y micrófonos subacuáticos para grabar los sonidos del mar.

Para poder navegar alrededor del mundo, el *Calypso* está dotado de piloto automático, radar, sonar y sonar especial para aguas muy profundas. Posee además diversos acuarios, entre ellos algunos antibalanceo que simulan constantemente las aguas inmóviles para los organismos que contiene. Con todos estos equipos queda todavía sitio para acoger a treinta personas durante largos períodos de tiempo. Por ejemplo, durante la mayor travesía llevada a cabo por el *Calypso*, de febrero de 1967 a septiembre de 1970, recorrió 140.000 millas náuticas (260.000 km) y rodó gran cantidad de películas submarinas sin tocar puerto. Durante ese período atravesó el mar Mediterráneo, el mar Rojo, el océano Indico, el océano Pacífico, el océano Atlántico y navegó a través del Artico hasta el mar de Bering.

Véase **Biología marina; Oceanografía**

Caballo

Hay un dicho, "estar a caballo", que los italianos utilizan para expresar que han obtenido todo lo que deseaban en una determinada circunstancia. Desde la Antigüedad, la imagen de un hombre a caballo es símbolo de poder. Los caballos han sido reproducidos en las monedas, esculpidos en las fachadas de los templos, y, en ciertos pueblos, elevados sin más al rango de divinidades.

Es necesario no olvidar que el caballo posee algunas facultades notables: tiene capacidad de advertir el peligro oculto y consigue casi siempre encontrar el camino cuando el jinete lo ha perdido. Los caballos son muy hábiles en localizar el agua en zonas áridas y saben distinguir a sus amigos a gran distancia.

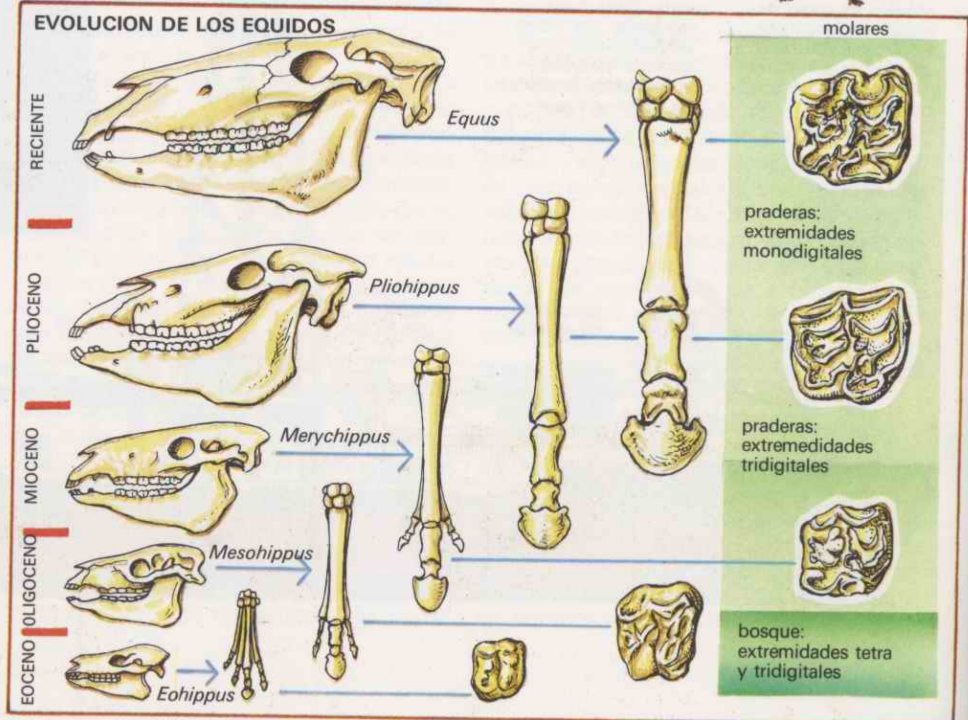
Los équidos Caballos, asnos y cebras son animales pertenecientes a un mismo género, científicamente conocido con el nombre de *Equus*. El asno es de menor tamaño que el caballo y está dotado de orejas más grandes; las cebras se distinguen por sus vistosas franjas blancas y negras. Todos estos animales pueden cruzarse entre sí, pero sus híbridos son generalmente estériles. Los más conocidos son: el mulo producto del cruce entre un asno y una yegua y el mulo producto a su vez del cruce entre un caballo y una burra.

El caballo y la yegua habitualmente se aparean en primavera, y después de once meses de gestación nace normalmente un solo potrillo. Si bien alcanzan la madurez sexual a los dos años, los caballos crecen hasta los cinco años. La duración media de vida de un equino es de 18 años, pero existen caballos que llegan a alcanzar el doble de esta edad. Su alimento natural lo constituye la hierba, el heno y los granos. La cabeza y el cuello de estos animales tienen abundante crin; la cola tiene también largas crines, que emplean para ahuyentar a los insectos molestos.

Las razas domésticas Existen dos principales razas equinas modernas: las razas ligeras o de silla, de origen meridional, y las razas pesadas o de tiro, principalmente nórdicas.

Los caballos del primer grupo son empleados generalmente como cabalgaduras o como animales de carrera y descienden todos, más o menos directamente, del caballo árabe, una raza particularmente bella y apreciada, además de ser la más antigua entre las hoy existentes. De las razas ligeras, es célebre el pura sangre inglés, o caballo de carreras; otras razas apreciadas son la *Morgan* (el típico "caballo de Far West"), la *Quarter Horse*, empleada en las carreras de obstáculos, y la *Standardbred*, trotadora por excelencia.

Las razas de tiro comprenden en general caballos adaptados a las labores agrícolas pesadas, y fueron en otro tiempo empleados también como animales de carga. Entre las razas más conocidas, mencionaremos: el caballo belga, paciente y tenaz; el *Clydesdale*, raza originaria de Escocia caracterizada por su pelaje oscuro con vistosas manchas blancas; el percherón, poderosa raza de origen francés, hoy muy difundida también en América del Norte; y el *Shire*, muy empleado sobre todo en Inglaterra.



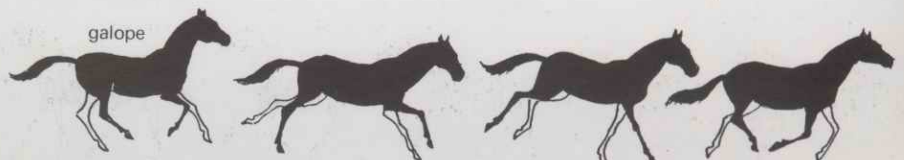
En un tipo intermedio entre los dos grandes grupos de razas arriba mencionadas se encuentran otros caballos, como el *Hackney*, la raza más utilizada en EE UU para los rodeos, y el *Lipizzano blanco*, con el que se obtienen sorprendentes resultados cuando se le adiestra, muy apreciado también como caballo de circo por sus excepcionales dotes rítmicas.

Los caballos salvajes están hoy casi totalmente extinguidos, a excepción del caballo de Przewalski, habitante de las estepas del Asia central y de Mongolia (macizo de Takhin Sharnuru). Más bien pequeño de estatura respecto del caballo doméstico, tiene el pelaje de color amarillo rojizo, con melena corta y erecta. Los extremos de las patas, la cola y la franja central del dorso son de color negro. La cabeza es pesada, el cuello musculoso y la estructura corporal robusta. Durante el invierno, el pelo le crece unos 8 a 10 centímetros, permitiendo así al animal superar los rigores del clima de las estepas en las que vive.

En las llanuras de Estados Unidos y en la Pampa existen manadas de caballos que se han vuelto salvajes y que provienen de caballos domésticos —introducidos por los colonos europeos— que han huido del control del hombre.

El patrimonio equino El número de caballos criados por el hombre está declinando actualmente casi en todas partes: en Estados Unidos, por ejemplo, existían cerca de 25 millones de caballos en 1920, cuando el automóvil no estaba aún tan difundido, mientras que hoy el número ha descendido por debajo de los 10 millones.

Además de los caballos empleados como transporte, también está disminuyendo el número de caballos dedicados a las labores agrícolas, en tanto que no ha sufrido una significativa variación el número de caballos empleados en las carreras y en los concursos hípicos. Actualmente, tras los Estados Unidos de Norteamérica, los países que poseen un patrimonio equino mayor son, por orden, China, México, Brasil, Unión Soviética y Argentina.



CARACTERES PREVALENTES	TIPOS DE SERVICIO	TIPOS MORFOLOGICOS
Velocidad pura Velocidad pura Velocidad y potencia Velocidad y potencia Velocidad y potencia	Carreras llanas al galope Carreras a trote Carrera con obstáculos "Cross-countries" De silla (para el ejército, para caza) De silla (para caballería ligera)	Dolicomorfo
Velocidad y arrastre Velocidad y arrastre Velocidad y arrastre	De silla y tiro ligero De tiro ligero De carruaje	Mesomorfo
Arrastre	De tiro pesado rápido De tiro pesado lento	Braquimorfo



Pliohippus (extinguido)



caballo de Przewalski



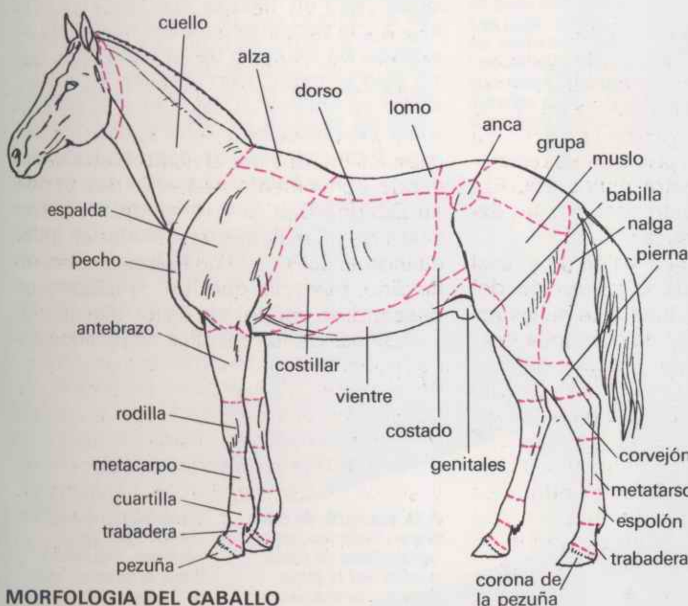
RAZA DOLICOMORFA
caballo árabe (de pelaje rojizo oscuro) de silla



RAZA MESOMORFA
Hunter irlandés (de pelaje gris)



RAZA BRAQUIMORFA
caballo belga de tiro pesado (de pelaje rojizo oscuro)



MORFOLOGIA DEL CABALLO

En la página anterior, arriba, evolución del caballo. La filogénesis del caballo, desde su primitiva forma hasta el proceso evolutivo final, aparece incierta y muy ramificada. La existencia de ramas estériles y fértiles en el árbol filogenético del caballo demuestra que, al cambiar de ambiente, las formas adaptadas a particulares condiciones ambientales eran sustituidas por otras que no contradecían las adquisiciones evolutivas que antes habían carecido de toda importancia. En lo que concierne a la evolución de la pezuña, la forma de la cabeza y la de los dientes, se asiste a una "radiación de adaptación", o sea, a un aumento de varios elementos debido a mutaciones y selecciones de las formas más arraigadas. En ambas páginas, arriba, dos tipos de razas extinguidas (*Eohippus*, *Pliohippus*). Ya en esta página, la última raza de caballo salvaje que aún existe (el caballo de Przewalski) y tres caballos de raza que representan los tipos fundamentales de caballo doméstico. Abajo, tipos de marcha característicos del caballo. A la izquierda de estas líneas, morfología del caballo. En el cuadro del ángulo superior, las actividades principales en las que destaca cada tipo de caballo.

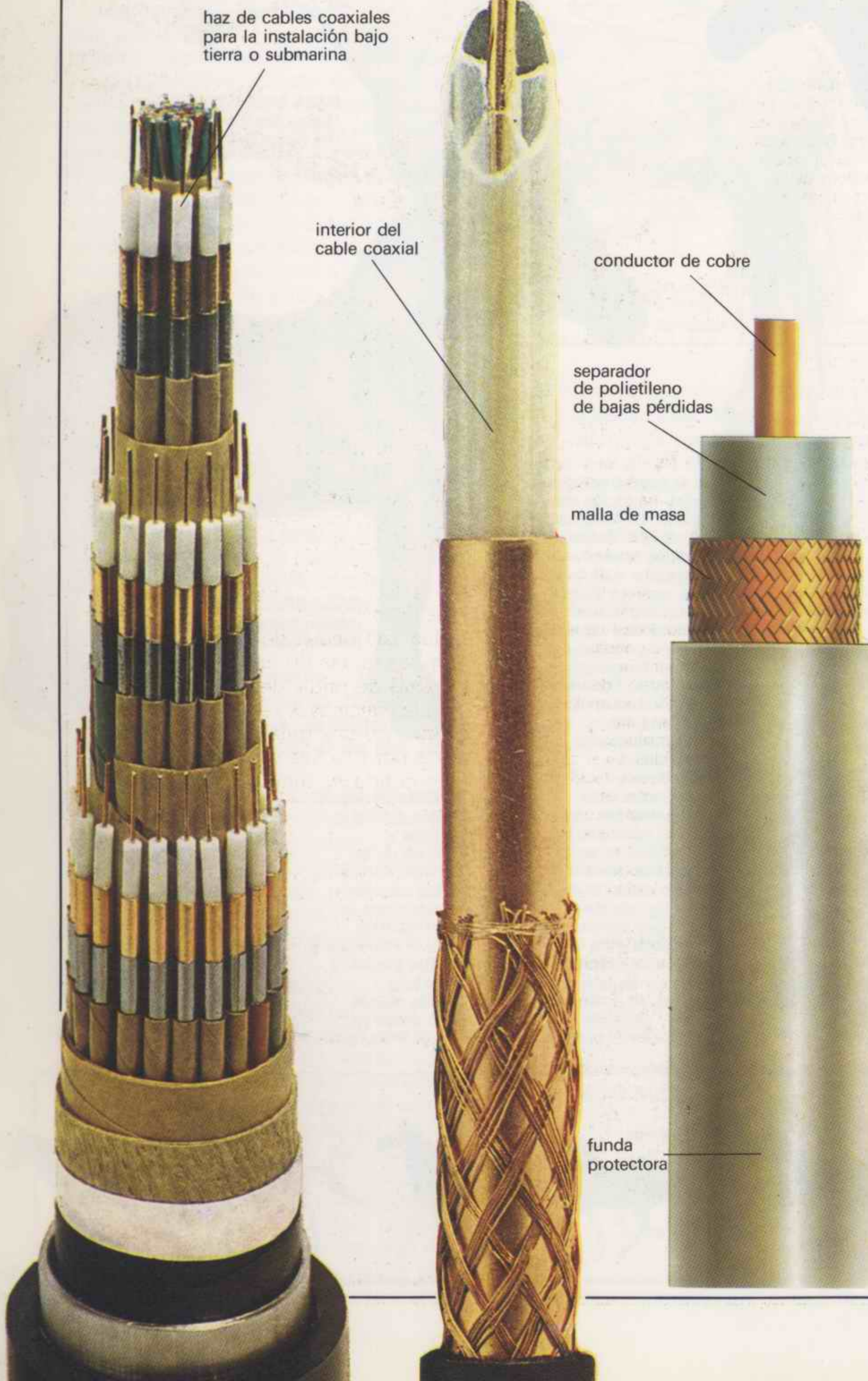


Cable coaxial y guía de ondas

En caso de ataque nuclear, el sistema de transmisión por cable coaxial de Estados Unidos probablemente no se destruiría, debido a que está instalado bajo tierra. Introducido de forma experimental en 1936 entre Nueva York y Filadelfia, se ha convertido en un medio de comunicación muy utilizado, extendiéndose a lo largo de miles de kilómetros. Estos cables se han perfeccionado respecto a los primeros modelos que tenían una capacidad de 480 circuitos telefónicos en dos sentidos, hasta llegar a los actuales sistemas en funcionamiento capaces de contener más de 30.000 circuitos.

Qué se entiende por cable coaxial Proyectados en principio para transmisión telefónica, estos cables se utilizan actualmente también para los equipos de radio y televisión. Están formados básicamente por dos conductores cilíndricos, uno macizo y el otro hueco, situados uno dentro del otro con sus ejes coincidentes (de ahí el nombre de *coaxial*), y separados entre sí por aislantes. El desarrollo de estos cables se produjo porque algunas investigaciones habían demostrado que los cables coaxiales mantenían el nivel de energía de las señales mejor que los cables de un hilo que se utilizaban entonces. Un cable típico está formado por un tubo externo de cobre, con un espesor de 0,94 cm, que rodea a otro conductor sujeto por discos de plástico cada 25 cm. Los tubos hacen de pantalla contra la electricidad estática y se rellenan de gas para mantenerlos secos. Existen dispositivos de alarma para detectar cualquier tipo de rotura en los tubos, en cuyo caso están previstos cables de seguridad que sustituyen automáticamente a los que están en uso y se han averiado. Los cables coaxiales de un solo tubo se usan en las instalaciones de televisión, mientras que los cables formados por varios pares coaxiales se utilizan en las transmisiones telefónicas, debido a que se tienen que transmitir muchas conversaciones a la vez. A lo largo del recorrido del cable existen centenares de repetidores, o amplificadores, que aumentan la tensión eléctrica para asegurar la recepción a pesar de la distancia.

Tipos de cable coaxial Existen tres tipos de cable coaxial: L-1, L-3 y L-4. El uso comercial del cable coaxial, introducido para cubrir una distancia de 320 kilómetros entre Wisconsin y Minnesota, se remonta a 1941 y era conocido como *sistema L-1*. Cinco años más tarde se aumentó la capacidad de este sistema de 480 circuitos telefónicos a 600. Después de la II Guerra Mundial aumentó la demanda de servicios de comunicación, y se desarrolló el sistema L-3 con una pareja de tubos capaces de cubrir 1.860 circuitos telefónicos. El número de tubos de L-3 que formaba el cable pasó a ser seis y después doce, pero en 1960 se aportaron mejoras al L-3 que permitieron la instalación de un sistema de 6.400 km de longitud en el que no sólo el cable, sino también los repetidores se colocaron bajo tierra. El sistema evita las ciudades y otras zonas difíciles, y se llama *sistema de comunicación por cable de alta fiabilidad*, puesto que se proyectó de forma que resistiera un ataque nuclear o una catástrofe natural. De todas formas, también el L-3 se quedó "pequeño", y los laboratorios Bell elaboraron el sistema L-4, con un número doble de circuitos respecto al anterior. En los años sesenta se hizo un experimento en Ohio y ese "gigante" con 20 tubos se usó por primera vez entre Boston y Miami; al final de esa década entró en funcionamiento para todo el territorio estadounidense.



A la izquierda de estas líneas, distintos tipos comerciales de cable coaxial: en la parte derecha, la imagen muy aumentada de un tipo en la que se aprecia la estructura interna. Como se puede ver, el cable está formado por un conductor de cobre macizo situado en el eje central, forrado por una gruesa capa de polietileno. Esta capa tiene a veces huecos para dar más flexibilidad y disminuir ciertos tipos de pérdidas. Siguiendo hacia el exterior, está la "malla", formada por una red cruzada de hilos finos de cobre y que habitualmente se conecta a masa. La funda protectora exterior tiene el único fin de dar rigidez mecánica. En el centro, otro modelo de cable y, en la parte izquierda, un haz de cables.

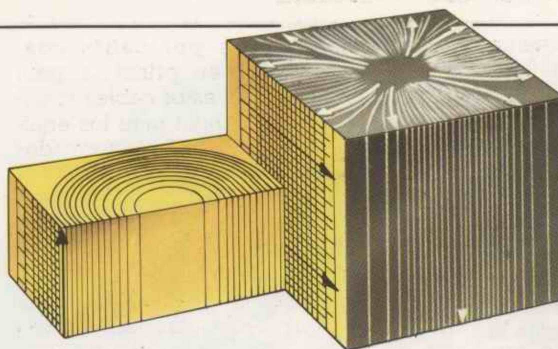
Guía de ondas La corriente eléctrica que se usa en casa para que funcionen los electrodomésticos es alterna (la europea varía cincuenta veces por segundo, y la estadounidense, sesenta); esa corriente invierte su sentido de circulación, al contrario de lo que hace la de una pila o batería, que permanece siempre constante. La corriente se hace circular por conductores, habitualmente de hilo de cobre, y basta con que sean lo suficientemente gruesos para que permitan pasar fácilmente la corriente.

Pero si se quiere que circulen por un hilo las corrientes alternas necesarias para transmitir la voz y el sonido del teléfono, la radio o la televisión, entonces esas corrientes, al circular por el hilo, lo transforman en una antena, tendiendo a radiar a su alrededor una onda electromagnética u onda de radio. Cuanto mayor es la frecuencia de la corriente alterna (por ejemplo, de millones de variaciones por segundo), tanto mayor es la parte de energía eléctrica que se pierde en el espacio. La función del cable no es muy eficaz, pues deja escapar una parte de la energía que tiene que transportar.

Para frecuencias no demasiado elevadas, la solución es el cable coaxial. El tubo de cobre situado alrededor del conducto central impide que la energía se escape y la mantiene en el interior, obligándola a que permanezca en el conducto. Pero para frecuencias más altas, o sea, para corrientes con variaciones de miles de millones de veces por segundo, la energía eléctrica, nada más volver al conductor central, vuelve a salir inmediatamente. En estas condiciones el hilo central ya no es necesario y el tubo se hace importantísimo: en la práctica, el cable se ha convertido en un tubo, llamado *guía de ondas* o también *guiaondas*. La energía se propaga dentro de esa guía como la voz a lo largo de un tubo de metal o de cartón.

La guía de ondas se construye con metales que sean buenos conductores de la electricidad, a fin de reducir las pérdidas; pero la corriente no circula por su cuerpo, sino que se propaga por la superficie interna, donde las paredes de la guía reflejan el campo electromagnético como si fuera luz. Las ondas de radio se diferencian de las ondas de luz únicamente por la longitud de onda, de ahí que se reflejen con las mismas leyes; por este motivo el interior de una guía de ondas está recubierto por una fina capa de oro, de forma que conduzca mejor la electricidad y además evite la corrosión.

La transmisión a través de guía de ondas se realiza sólo en trayectos cortos y se usa cuando es necesario transmitir entre dos puntos el máximo de energía eléctrica sin pérdidas. Un uso típico es en los radar y en los radiotelescopios. En el radar existe un circuito electrónico en el que se genera una corriente alterna de altísima frecuencia; esta corriente se tiene que llevar del circuito electrónico a la antena con forma de disco, que la enviará hacia el blanco; el eco de éste tiene que volver al circuito detector. Esta transmisión entre generador y antena se efectúa con guía de ondas, igual que la que conduce, en los radiotelescopios, las señales débiles de las estrellas desde la gran antena a los circuitos que la detectan y miden.



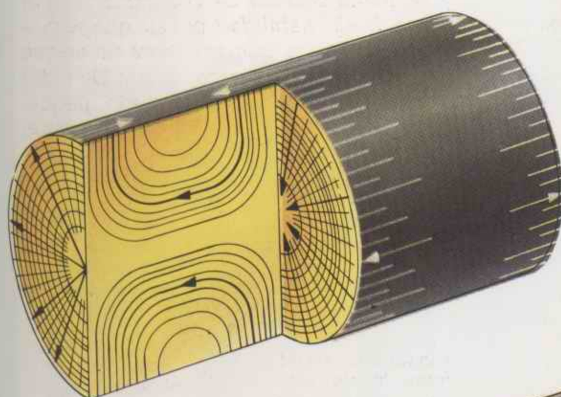
posibles modos de propagación en guía de ondas de sección cuadrada

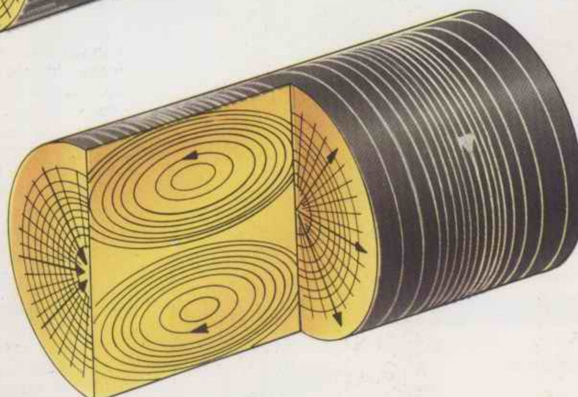
Arriba, la sección de una guía de ondas, que puede tener secciones con distinta forma según se tenga que transmitir la señal electromagnética. Puede ser cuadrada, rectangular o circular, pero en cualquier caso el proyecto tiene que determinar el modo de propagación de la onda electromagnética. Aquí se puede ver el dibujo que se deduce de la resolución de las ecuaciones de Maxwell.

guía de ondas

Arriba, una guía de ondas larga hecha por unión de varios trozos de guía más cortos. Las guías tienen que ser perfectamente conductoras por lo que están pulidas y doradas por la superficie interior.

Debajo, las líneas de fuerza de un campo electromagnético que se propaga dentro de una guía de ondas de sección circular. En las guías, la onda electromagnética se propaga prácticamente a la misma velocidad que lo haría en el vacío. Puesto que las guías de ondas permiten la transmisión de señales de alta frecuencia, se utilizan para transmisiones múltiples. En el cable coaxial la velocidad de la señal es aproximadamente el 90 % de la de la luz, por lo que se emplea en ordenadores superrápidos.





posibles modos de propagación en guía de ondas de sección circular

Véase **Comunicación y comunicaciones; Ondas**

Café

Desde hace mucho tiempo, el café es uno de los "tónicos" favoritos. Sus propiedades tónicas y estimulantes se deben a la presencia de la cafeína en proporciones que oscilan entre un 0,75 y un 1,5% en peso, según las variedades. Se trata, en cualquier caso, de una droga ligera, si bien en algunos países islámicos, como por ejemplo Arabia Saudí, su consumo es considerado práctica inmoral; ello es algo realmente pintoresco, ya que es justamente la península de Arabia, exactamente la zona del Yemen, la patria originaria del café.

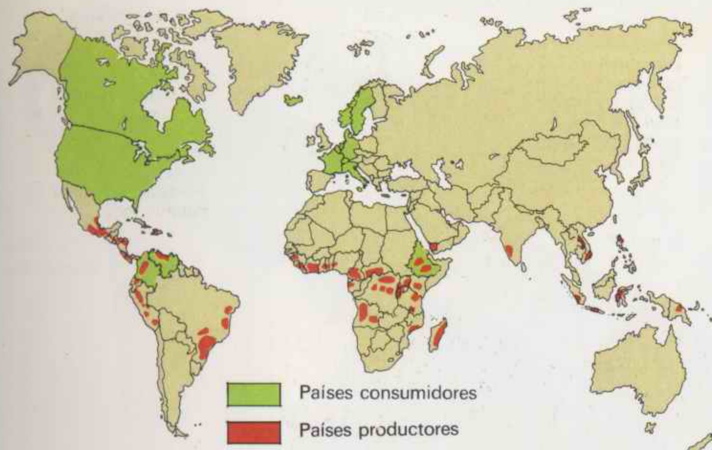


A la izquierda y abajo, el fruto y una rama de la planta del café. En el fruto abierto se ve la parte que es usada para la preparación de la bebida. Para desarrollarse, la planta tiene necesidad de elevadas temperaturas durante todo el año.

El café y el comercio El café carece de valor nutritivo y no contiene calorías, si bien comúnmente se le adiciona leche, que sí las contiene. Cuando penetra en la corriente sanguínea, se dirige rápidamente hacia el sistema nervioso central, estimulando el cerebro, aumentando la capacidad de discernir entre varios estímulos sensoriales, acelerando el tiempo de reacción, disminuyendo la somnolencia y la fatiga, y volviendo más agudo el intelecto. Todo ello debido a la cafeína, alcaloide que actúa como estimulante y contrae los vasos sanguíneos que irrigan el cerebro; una taza de café puede representar el secreto que protege del dolor de cabeza (esa es la razón por la que, a menudo, los analgésicos contienen cafeína).

De la semilla a la bebida El 90% de la producción mundial de café proviene de la planta *Coffea arabica*, de la que existen más o menos 15 variedades. Las plantas de café, que se presentan en forma de ar-

enfriamiento
filtración
molienda
tostado de las semillas
adición de agua caliente
secado por aire
congelación del líquido
fondo
salida de aire
contenedores calientes
cámaras de vacio
mezcla filtrada
adición de aire caliente
partículas de café seco
hielo vaporizado
PROCESO DE LIOFILIZACION
café instantáneo
café molido
café en granos



VARIABILIDAD DEL CONTENIDO DE CAFEINA EN LAS DIVERSAS ESPECIES DE CAFE		
Especie	**Origen**	**Porcentaje de cafeína**
Mascarocoffea	Madagascar	0 %
Paracoffea	India y Africa	0 %
Coffea eugenioides	Kenia	de 0,2 a 6 %
Coffea zanguebariae	Kenia	0,5 %
Coffea racemosa	Mozambique	de 0,6 a 1,2 %
Coffea congensis	Zaire	de 1 a 1,4 %
Coffea liberica	Costa de Marfil	de 0,6 a 1,8 %
Coffea arabica	Etiopía	de 0,6 a 1,8 %
Coffea canephora	Costa de Marfil Madagascar	de 1,3 a 5,2 %

bustos o de pequeños árboles, crecen en climas tropicales o subtropicales donde la estación seca alterna con un período moderadamente fresco y húmedo. Son muchos los países productores de café, pero las dos terceras partes de toda la producción mundial corresponden a América Latina, donde Brasil aporta casi la mitad de la producción. El fruto del café es una drupa de forma ovalada, que cuando está madura es roja como una cereza. Dentro de cada fruto se encuentran por lo general dos semillas.

El fruto se deja secar hasta que el tegumento puede ser removido mecánicamente, obteniéndose así la semilla verde.

Tostado La diferencia entre el "café largo" y el "corto", éste muy apreciado por griegos y turcos, está básicamente en el tostado, es decir, en el proceso de calentamiento de la semilla verde a alta temperatura hasta convertirse en marrón oscuro. El tostado es el momento crítico para conferir a las semillas aroma, gusto y color; cuanto más prolongado sea el tostado, más oscuro y aromático resultará el grano. Los granos son recogidos, seleccionados y liberados de la cáscara, del polvo y de otros materiales extraños, y tostados en hornos de tipo industrial en grandes cantidades y a altas temperaturas (de 220 a 240 °C durante cinco a veinte minutos). El posterior enfriamiento rápido ayuda a conservar el aroma del café.

En el proceso de tostado, las semillas pierden agua y liberan gas; al final tienen aproximadamente la mitad del peso inicial. Esto facilita la separación de los desechos pesados.



En la página anterior, abajo, se ve primero cómo las semillas son tostadas en hornos. Este proceso de torrefacción es muy intenso para el café consumido en los países de las áreas meridionales y más débil para el consumido en los países del mundo anglosajón y centroeuropeo. En este segundo caso se obtiene una bebida más ligera, pero dotada de aromas que la torrefacción acelerada ha hecho desaparecer.
El café torrefacto en semilla o después de la molienda puede ser enviado directamente al envasado y a la comercialización. Alternativamente, el café, tras ser molido y tratado en infusión de agua caliente dentro de grandes estractores, puede ser liofilizado o secado al vacío. En ambos casos es puesto a la venta como café soluble o instantáneo. A la derecha de estas líneas, semillas de café extendidas al sol para su secado.

Molienda Parte de la semilla es comercializada entera, para ser molida justo en el momento de su consumo. Pero la mayor parte de ella es molida en las torrefacciones, hasta un punto que depende del tipo de café a preparar. La mayor parte de las formas de preparación del café, como por ejemplo el exprés o el café de goteo, prevé, la filtración del agua, que pasa a través del café molido. En el método del colado, por el contrario, el agua y el café molido se ponen a hervir juntos.

Café descafeinado e instantáneo El café descafeinado ha sido una solución para las personas que no pueden ingerir cafeína por razones de salud o para aquellas a las que una taza de café les impide conciliar el sueño. Elaborado a base de una técnica alemana que permite eliminar la cafeína, conserva, sin embargo, las cualidades organolépticas de la bebida. Para preparar el café descafeinado, las semillas son tratadas con vapor: la cafeína es retirada por la acción de un ácido o de un disolvente clorado, a continuación otro vapor es aplicado sobre las semillas para eliminar cualquier impureza residual; finalmente las semillas son secadas.

El café soluble o café instantáneo se prepara con un polvo de café, elaborado por diversos y complejos sistemas, al que basta añadir agua caliente, en la cual se disuelve. Para su elaboración, las semillas deben tener durante el tostado su mayor grado de humedad, y después de ser molidas se someten a un proceso de deshidratado: rociándo el café molido en forma de pequeñas gotas en una corriente de aire caliente y secándolo al vacío o liofilizándolo. En la liofilización, el café es primero congelado, luego el agua es retirada por volatilización, quedando sólo las partículas sólidas. El descubrimiento de la liofilización ha mejorado de forma notable el aroma del café instantáneo, que ha tenido una gran aceptación por su fácil y rápida preparación.

Véase **Liofilización**

Caja fuerte y cerraduras

La cerradura, un mecanismo que permite sólo a las personas autorizadas abrir una puerta o una caja de seguridad, ha desempeñado un papel fundamental en la lucha secular entablada entre los dueños de bienes y los intrusos o ladrones.

Existen diversos tipos de cerraduras: las de llave, las de combinación, las magnéticas y las electrónicas.

Cerraduras egipcias y romanas La cerradura más antigua conocida, construida de madera, se utilizó hace 4.000 años en el valle del Nilo. Unos fiadores, colocados en uno de los soportes de madera del pestillo, se desplazaban a través de los agujeros del pestillo para bloquearlo. Al ser hueco el pestillo, podían levantarse los fiadores mediante una gran llave de madera, parecida a un cepillo de dientes con sólo unas "cerdas" de madera, cuya forma coincidía con la de los fiadores de la cerradura. En la antigua Roma las cerraduras eran mucho más parecidas a las que se utilizan en la actualidad. Eran de hierro y disponían de un pestillo. Las llaves de hierro o de bronce se adaptaban al agujero de la cerradura (cuya forma era muy compleja) para desplazar de un lado a otro el pestillo ranurado. Para mayor seguridad se añadieron en el interior del alojamiento unas protecciones metálicas fijas. Estas bloqueaban el movimiento de la llave si en ella no se habían practicado unas ranuras especiales.



Abajo, algunos ejemplos de cerraduras "Yale". Sólo la llave con los dientes adecuados puede elevar los cinco fiadores a la altura correcta para permitir que el rodillo gire y accione el pestillo. Los fiadores van empujados por muelles que los mantienen siempre en posición de cerrado, excepto cuando se inserta la llave adecuada.

Aunque el perfeccionamiento de los materiales, el control micrométrico efectuado en las distintas fases de su producción y las sofisticadas y perfectas técnicas que requieren una maquinaria especial hayan permitido una funcionalidad y seguridad cada vez mayores de las cerraduras (de varios millones de combinaciones), sin embargo han limitado progresivamente su valor ornamental, como puede verse observando este ejemplar alemán en hierro batido del siglo XVII (*Victoria and Albert Museum*, Londres).

Cerraduras modernas Muchas de las cerraduras actuales tienen las mismas características que aquéllas antiguas. Por ejemplo, la cerradura que se encuentra en la mayoría de las puertas de las casas es una lejana descendiente de la cerradura egipcia. Para abrir la moderna cerradura "Yale" de tipo cilíndrico (patentada por primera vez por Linus Yale en el año 1848), se utiliza una llave plana con un borde dentado que se introduce en un cilindro. Para conseguir que el cilindro quede libre y pueda girar y desbloquear el pesti-

Al lado, una moderna caja fuerte en forma de mueble cuya estructura está constituida por dos chapas reforzadas de gran espesor, entre las cuales se ha introducido un material especial que cumple la doble misión de ser refractario a las llamas y ser abrasivo para las brocas de las taladradoras. la coraza de acero que rodea completamente la caja fuerte está estudiada para prevenir las perforaciones.
La puerta posee unos cerrojos a expansión en sus cuatro costados; el bloqueo → de la manilla de mando se obtiene mediante una o dos cerraduras y una eventual combinación. Hay cerraduras antirrobo de gran seguridad (de dos vueltas, de diez palancas) y cada cerradura está provista de dos llaves de doble dentado bicifrado con una posibilidad enorme de variaciones; hay, además, una cerradura de combinación constituida por tres discos con dispositivo autoblocante; la combinación está formada por tres números secretos variables de 1 a 100, con los cuales puede obtenerse 1.000.000 de combinaciones distintas. El contenido está protegido por otra cerradura de seguridad.

llo, la llave debe levantar una serie de fiadores, cinco generalmente, exactamente como la llave egipcia. Estos fiadores metálicos están sujetos por muelles y divididos en dos partes. El cilindro girará solamente cuando el borde entre la parte inferior y la superior de cada uno de los fiadores esté alineado con la superficie exterior del cilindro. Si la longitud de los cinco fiadores es diferente, son posibles millones de combinaciones. La cerradura magnética es menos utilizada, pero similar a la cerradura de cilindro. La llave tiene unos pequeños imanes colocados de tal forma que, cuando es situada en posición correcta, los imanes alinean los pasadores y liberan el pestillo. Las tarjetas con banda magnética que los bancos ponen a disposición de sus clientes para la utilización de los cajeros automáticos sirven también como "llave", que se introduce en una ranura situada cerca de la puerta.

Combinación Las cerraduras de combinación, conocidas por lo menos desde el siglo XVI, están consideradas como una categoría de cerraduras diferente, ya que no necesitan llave. El más antiguo tipo de cerradura de combinación estaba constituido por una serie de pequeños bloques o anillos situados uno al lado del otro, en cuyo interior había unas estrías, y por el exterior, números y letras. Cuando se efectúa la combinación de letras o números correcta, todas las estrías quedan alineadas y el perno que los atraviesa se desbloquea. Otra versión más difundida de cerradura de combinación posee un mecanismo parecido, pero los pequeños bloques están dispuestos en el interior del pestillo y pueden ser alineados maniobrando un cuadrante con un disco numerado. Los bloques en forma de disco, generalmente tres, están sujetos en su posición por un eje común situado detrás del cuadrante. A través de un sistema de ranuras puede hacerse girar el bloque más cercano; rotando el cuadrante, se alinean las estrías de cada bloque y se libera el pestillo.

Cajas fuertes A finales del siglo XIX, las fuertes cerraduras de combinación de cuadrante empezaron a sustituir en las cajas fuertes a las cerraduras de llave, que podían ser duplicadas fácilmente. Las primeras versiones de cajas fuertes, cajas de hierro cerradas con llave, habían sido construidas en Europa durante el Renacimiento.

Actualmente las grandes cajas fuertes, como las utilizadas en los grandes bancos, tienen gruesas paredes de acero y una pesada puerta. Las paredes pueden ser construidas también con varias planchas de distintos materiales para dificultar su taladrado o corte mediante soplete oxiacetilénico. Algunas veces las cajas fuertes son soldadas en su sitio y construidas entre paredes de hormigón y acero. En muchos bancos, las cerraduras están reguladas por relojes colocados en el interior de las cajas fuertes, de forma que la combinación permite abrir la cerradura solamente en las horas preestablecidas. Este sistema —conocido como *de cerradura temporizadas*— fue ideado a principios del siglo XIX pero no fue usado en gran escala hasta alrededor del año 1870, cuando los robos de bancos fueron muy frecuentes en Estados Unidos. Otro tipo es la *caja fuerte archivo*, ideada en un principio para proteger del fuego papeles y documentos importantes. Las paredes de estas cajas fuertes contienen una capa de material aislante, como arcilla cocida, polvo de mármol o cemento. En esta capa se introducen a menudos unos cristales que cuando se calientan se descomponen y producen agua. En caso de incendio, la humedad se transformará en vapor y protegerá los documentos de la llama.

Véase **Llaves, fabricación de**

Caja registradora

La caja registradora es un buen ejemplo de objeto familiar cuya forma y funcionalidad han sido revolucionadas por la era electrónica. En el viejo modelo de registradora, el importe de las ventas era introducido en la máquina por medio de palancas de registro.

La nueva caja registradora realiza, al pulsar las teclas, las siguientes funciones: indicar la cantidad registrada, imprimirla en un rollo de papel, añadir el importe al totalizador, a fin de actualizarlo, accionar los contadores de operaciones especiales cuando sea necesario y abrir el cajón del dinero. Los terminales electrónicos en los puntos de venta representan un gran paso adelante no sólo porque guían al operador en la transacción mediante un visualisador *LED* y pueden ser programados para evitar errores, sino también porque suponen un modo altamente eficiente y un ahorro de tiempo al efectuar el inventario, haciendo de la actual caja registradora un instrumento mucho más útil de lo que fuera antes para el comerciante.

Registradoras de teclado Cuando se marca sobre la registradora de teclado el precio de un artículo —por ejemplo, 840 pesetas—, se pone en movimiento un motor eléctrico que acciona los mecanismos de suma del precio a la venta total. El elemento impresor, accionado mediante levas por las teclas, registra las cantidades en un rollo de papel a medida que son contabilizadas, y asimismo permite imprimir los totales por separado. El cajón del dinero, que se asienta sobre unos rodillos de nailon, se abre por efecto de la tensión de un muelle que se libera en el momento de terminar el registro de una operación. La máquina está provista de una cerradura de control que funciona en cinco posiciones: puesta a cero, lectura de totales, máquina cerrada y cajón abierto o cerrado. Una llave de lectura y puesta a cero, en manos de persona autorizada, impide las manipulaciones.

Terminales en los puntos de venta Como sucede a menudo con los equipos electrónicos, los terminales en los puntos de venta funcionan, por múltiples motivos, más simplemente que sus predecesores mecánicos, a pesar de ser mucho más complejos. El terminal de un punto de venta está conectado a un ordenador que puede realizar el control del inventario y la autorización para los créditos, así como registrar las transacciones de una venta, empleando poco tiempo, mano de obra y papel.

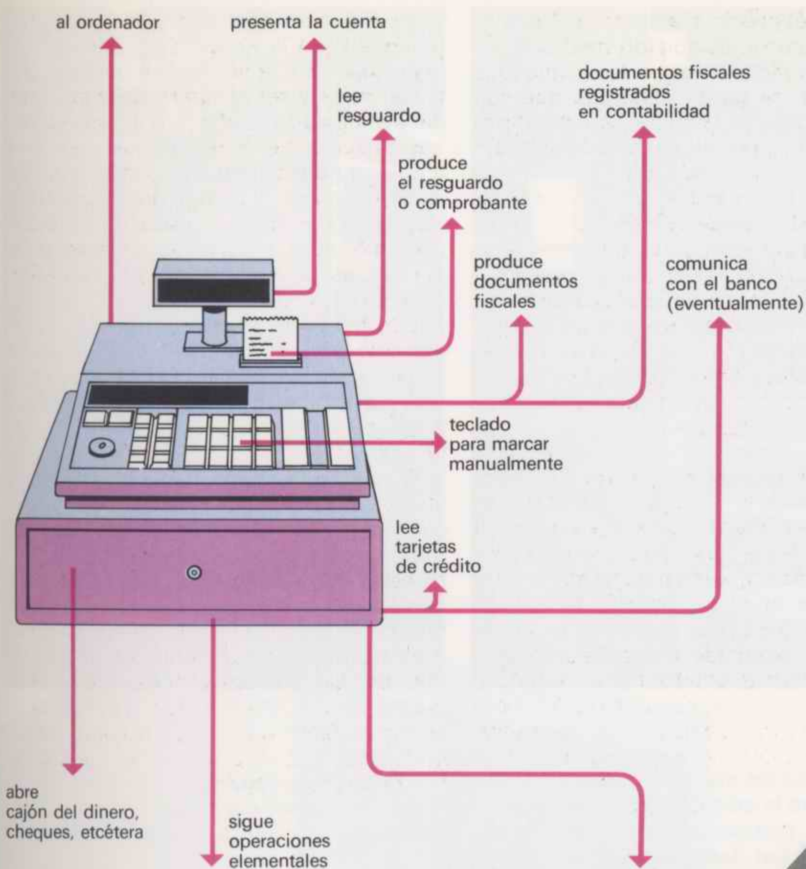
Existen dos sistemas importantes para puntos de venta. El tipo de teclado único tiene cajas registradoras que pueden funcionar solas y ser programadas para ayudar al empleado en el cierre de caja en varias transacciones, advirtiéndole cada vez que se produzcan errores e imprimiendo en el resguardo el código de los artículos. Este tipo de terminal consiste en un teclado numérico, algunas teclas, un panel guía para el operador y un panel-visualizador de los datos de la venta, que el cliente puede controlar. Cuando la transacción se imprime en el resguardo, a menudo queda también grabada en una cinta de registro magnético que puede ser rápidamente preparada para memorizar las informaciones.

En un sistema por puntos de venta de teclado múltiple, los grandes almacenes utilizan un grupo de estas máquinas electrónicas. No pueden ser programadas, pero están conectadas a un único colector central de datos o a un microordenador que permite transmitir en cada momento los datos actuales de venta a un ordenador distante que los procesa inmediatamente. Esto ofrece grandes ventajas para el comerciante, que puede obtener informaciones continuas sobre sus negocios por producto y reparto.



A la derecha, una moderna caja registradora constituida por una simple máquina sumadora electrónica con un doble visualizador de cifras: uno vuelto hacia el cliente, y el otro, hacia el cajero. Un teclado permite "marcar" las cifras y una pequeña impresora proporciona el resguardo o comprobante, con indicación de las cifras parciales, del total y de la fecha. El cajón para el dinero es de apertura automática.

Olivetti



En esta página, a la derecha, el interior de una caja registradora en servicio y arriba, el esquema de una registradora con múltiples funciones. En esta versión funciona como un periférico de una calculadora grande.

Como registradora en el punto de venta, se encarga de permitir los pagos no sólo en dinero contante, sino por medio de cartas de crédito. La transmisión de los datos es asegurada por líneas telefónicas especiales.

El microordenador permite cambiar los precios regularmente y tener al día el registro de los créditos.

Lectura de etiquetas Hay cajas registradoras modernas que pueden leer las etiquetas de los precios automáticamente, eliminando los errores y acelerando el procedimiento de control final. El código universal de producto consiste en una etiqueta codificada con un sistema de barras impresas que es leído por un terminal electrónico capaz de entender los datos —una señal hecha a bolígrafo que el empleado de control de seguridad adopta— para descifrar el artículo visualmente ("leyendo" las líneas claras y oscuras con un haz de luz). Los registradores de muchos supermecados utilizan un analizador por rayo láser para leer cada tarjeta individualmente, mientras la mercancía comprada discurre sobre un mostrador móvil hacia la caja de salida.

En los últimos años el desarrollo en los terminales electrónicos por puntos de venta ha sido impresionante, llevando la automatización a muchos supermecados e incluso a negocios más pequeños.

Véase **Código de barras**

Cajero automático

Los cajeros automáticos vienen siendo utilizados por los bancos desde los años sesenta como un servicio a sus clientes. Los tradicionales talonarios de cuentas corrientes y las libretas de ahorro son sustituidos por una tarjeta de plástico, dotada de una banda magnética, que activa la máquina que debe ser capaz de identificar a la persona (valiéndose de una instrucción dada por el cliente), proporcionarle la cantidad de dinero solicitada y efectuar las anotaciones correspondientes. Los terminales más sofisticados pueden gestionar el reintegro de un depósito, la cuenta del banco, la retirada de fondos con tarjetas de crédito, así como los depósitos a cuenta y sobre las cuentas del banco, las informaciones sobre el balance, la transferencia de fondos de otra cuenta a la cuenta del banco y pagos (hipotecas, tarjetas de crédito, teléfono, etc.). Los cajeros automáticos están constituidos por tres elementos principales: la consola del terminal (el soporte de la máquina), los módulos electrónicos sobre los que está montada la consola y el depósito (donde se almacenan los depósitos de caja). Están controlados por un miniordenador o por un potente microordenador, que permite al banco programar el terminal según sus exigencias.

Uso de la máquina Cuando se inserta la tarjeta de plástico en la máquina, ésta procede a "leer" la banda magnética igual que una cinta magnética es "leída" por el cabezal de lectura. Al mismo tiempo, el usuario pulsa en el teclado su número o su palabra de código personal. El ordenador confronta la clave recibida con los datos codificados en la tarjeta. Esto constituye un simple control para garantizar que la clave pulsada sea la correcta (y, frecuentemente, una útil medida contra los robos). También indica el saldo de la cuenta y permite al ordenador impedir la retirada de fondos si la cuenta está al descubierto. En muchos cajeros automáticos, el archivo que contiene la información de la tarjeta, registrada sobre la banda magnética, constituye una protección al confrontar tarjetas duplicadas; la máquina compara la historia de la tarjeta con la registrada en la memoria del ordenador, y una tarjeta falsificada difícilmente puede presentar una información actualizada.

Sobre una pequeña pantalla aparecen las instrucciones para el empleo de la máquina. Hay distintos procedimientos de utilización, pero, en la mayoría de los casos, el cliente introduce la tarjeta en la ranura y marca en el teclado su número secreto de identificación. A continuación selecciona la operación a realizar, y, en el caso de que sea un reintegro, teclea la cifra que desea retirar. Finalmente, la máquina entrega el dinero al cliente y le devuelve la tarjeta, grabando los datos de la operación para procesos posteriores en banda magnética o papel perforado, que pasarán después al ordenador del banco. Generalmente la máquina proporciona una copia de la operación al cliente.





En uno de los modelos más difundidos, una vez que la máquina "autoriza" un reintegro, éste solamente puede hacerse según cifras bien definidas. Esto se debe a que el cargador del cajero automático contiene un determinado número de sobres con dinero (400 en el modelo más común) y sólo puede retirarse una suma múltiplo de la contenida en cada sobre. Otras máquinas distribuyen billetes de banco sólo de determinados valores.

Véase **Lector óptico (OCR)**



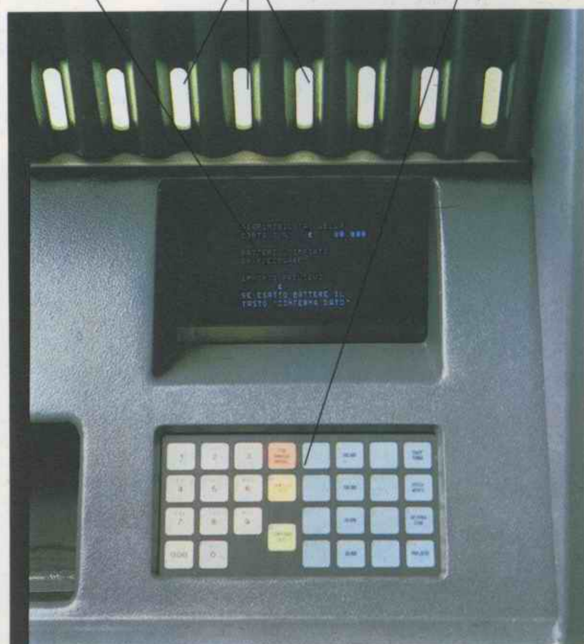
Un sistema automático para la distribución de dinero efectivo es algo bastante complejo, pues debe contener una reserva de fondos, debe albergar un sistema para reconocer quién tiene derecho a extraerlo, ha de saber cuándo su reserva de efectivos se va agotando o ya está agotada, y debe, finalmente, "anotar" que el cliente ha efectuado su reintegro y la cuantía. Algunas de estas funciones conllevan mecanismos muy complejos, como el que recoge los billetes y los presenta en la boca de salida donde serán tomados. La manipulación de los billetes de banco usados es difícil, ya que se trata de trozos de papel afectados por un desigual deterioro y con tendencia a pegarse entre sí. También es complejo el sistema de reconocimiento de las tarjetas de crédito y la lógica que impide sacar dinero dos veces seguidas.

En la página anterior, arriba, un sistema para la retirada de dinero, abierto para el mantenimiento, deja ver algunos de los mecanismos internos de los cuales se sirve para su funcionamiento. A la izquierda, el teclado para efectuar las peticiones; a la derecha, las cajitas para contener el dinero, y, debajo, instrumentos electrónicos para las operaciones contables y los delicados mecanismos para el movimiento de los billetes de banco. En esta página, a la derecha, una tarjeta de crédito; existen algunas especiales, pensadas para la absoluta identificación del peticionario. Y es que la identidad no queda asegurada simplemente por la tarjeta de crédito; de hecho, podría tratarse de una tarjeta extraviada, encontrada por alguien y utilizada de forma ilegal. Por eso, tras la identificación de la tarjeta de crédito, el sistema pide la clave secreta del cliente, que le permite obtener el reintegro.









Cubierta elegante pero sobria de un sistema de distribución automática de dinero en efectivo. Se trata de una construcción muy sólida; aun cuando no se alcance el nivel de una caja fuerte, no debe ofrecer facilidades a una apertura forzada desde el exterior. Además, el punto desde el que el cliente efectúa la operación debe tener una posición tal que impida que otros vean el importe del reintegro o el número secreto. Por otra parte, la máquina debe permitir ser interrogada con ciertas preguntas, para lo cual está provista de un teclado; pero debe también responder —y lo hace en los modelos más complejos— a través de textos que aparecen en la pantalla de un tubo de rayos catódicos.

Calcio

NOMBRE	CALCIO
SIMBOLO	Ca
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latín *calx*, cal
N.º ATOMICO	20
PESO ATOMICO	40,08
ESTADO NATURAL	en muchos minerales y silicatos (feldespato, anfíbol, piroxeno), en las calizas y dolomías, en el agua del mar
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	H. Davy (1808)
PRODUCCION	electrólisis del cloruro fundido
P. f. (°C)	842,8
P. eb. (°C)	1.487
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	1,55
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal esencial para la vida de plantas y de animales; se usa en la preparación de aleaciones para rodamientos, en la fabricación de aceros y en la industria termoiónica



El mismo elemento que mantiene fuertes y sanos los dientes y los huesos es también, desde tiempos antiguos, un material importante en la construcción de viviendas y en la ingeniería. Griegos, romanos y egipcios lo usaron ampliamente en la edificación de sus viviendas, que han persistido durante siglos, y en la preparación de argamasa a partir de la cal. También la común expresión teatral inglesa usada para definir la "escena" deriva del calcio; en las primeras representaciones teatrales, en efecto, se calentaba hasta la incandescencia un bloque de calcio con el fin de producir una luz suave, blanca y vívida conocida en inglés precisamente como *limelight* (luz de calcio), que ha quedado como término para referirse al escenario.

El calcio es el elemento metálico más abundante en el cuerpo humano y el quinto elemento en orden de abundancia de la corteza terrestre. En el sistema periódico, que ordena todos los elementos conocidos según el número de protones contenido en sus respectivos átomos, el calcio forma parte del grupo segundo, también conocido como el de los *alcalinotérreos*. De modo análogo a los otros elementos de este grupo, que incluye también el magnesio, berilio, estroncio, bario y radio, el calcio fue primeramente conocido en forma de compuesto, ya que no existe libre en la Naturaleza. A los citados elementos se les denominó *térreos* porque tenían carácter no metálico, eran insolubles en agua y no se modificaban por el fuego; también se les llamó *tierras alcalinas*, a causa de su semejanza con los álcalis (sosa y potasa).

El calcio fue aislado por vez primera en 1808 por sir Humphry Davy, investigador inglés que demostró que la cal estaba constituida por oxígeno y por un metal que denominó *calcio* porque estaba contenido en el yeso —*chalk* en inglés— (compuesto por carbonos de calcio). Los compuestos del calcio están ampliamente distribuidos y constituyen el 3,22 % de la corteza terrestre. Por su gran abundancia y porque en muchos de sus compuestos no se disuelve fácilmente en agua, el calcio es útil como componente estructural de los seres vivientes y no vivientes.

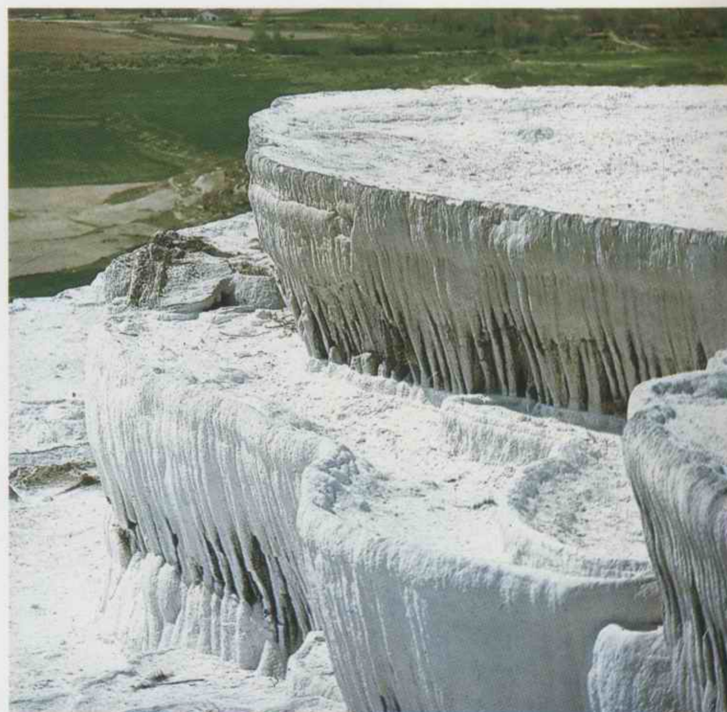
Sus compuestos y sus aplicaciones La caliza o carbonato de calcio ($CaCO_3$), un polvo blanco, es la forma más importante en que se encuentra el calcio, presente también en el yeso, en el mármol, en la dolomita, en la cáscara de los huevos, en las perlas, en las estalactitas y en las estalagmitas, etcétera.

En el invierno, el cloruro de calcio ($CaCl_2$) se esparce por las calles, con objeto de disolver el hielo y la nieve, ya que este compuesto es fácilmente soluble en agua y la solución resultante tiene un punto de congelación más bajo que el del agua pura; por lo tanto, impide la formación de hielo en las calles. Cuando se añade agua al óxido de calcio (CaO), se transforma en hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$], un polvo fino utilizado para hacer estuco de vidrio y de madera, argamasa, cemento, hormigón y yeso.

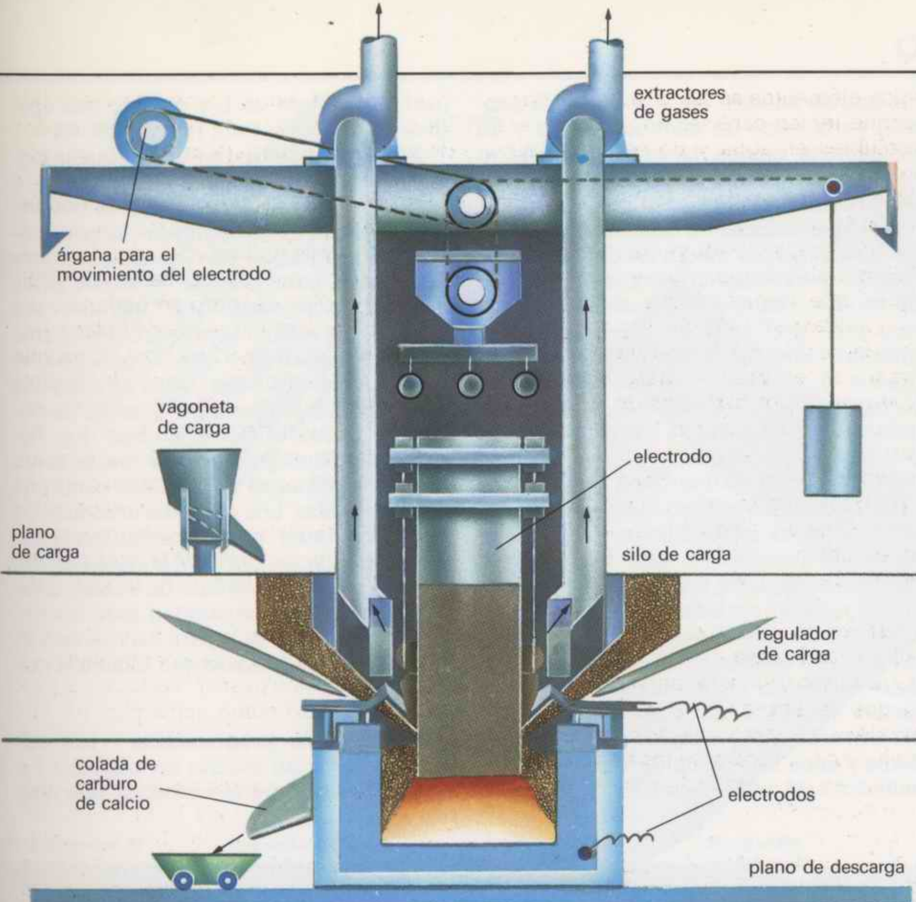
El sulfato de calcio, en su forma hidratada ($CaSO_4\,2H_2O$), se conoce como *yeso* o *alabastro* y se utiliza para obtener el "yeso de París"; cuando se calienta pierde agua y se ablanda, pero se endurece de nuevo al recuperar el agua de enlace, por ello es el compuesto ideal para construir moldes y para fijar miembros fracturados. La cianamida cálcica ($CaCN_2$) es un importante fertilizante; en contacto con el agua se descompone en amoniaco y carbonato de calcio, ambos beneficiosos para las plantas. Es también un elemento base para la síntesis de muchos productos químicos: la melamina, por ejemplo, se utiliza en el revestimiento de muebles de cocina.

El calcio se usa también en aleación con aluminio, cobre, plomo y magnesio, ya que tiene un bajo peso. Aleado con el plomo, es utilizado como vaina para los cables telefónicos.

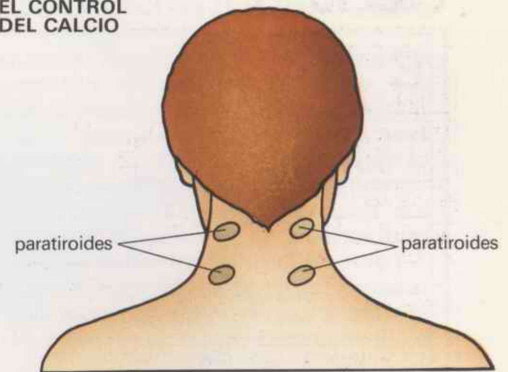
El calcio en los seres vivos El constituyente principal de los huesos —incluidos, como es lógico, los huesos humanos— es el fosfato de calcio, compuesto resistente y compacto. El cuerpo humano posee en su composición un 2 % de calcio. El calcio se ingiere a través de la leche y productos derivados y es el mineral que más fácilmente puede llegar a faltar en la dieta media de una persona. La ausencia de la vitamina D, que favorece la absorción del calcio durante el proceso de la digestión al mantener el equilibrio fosfocálcico, lo que permite la fijación de calcio en el esqueleto, origina raquitismo y deformación en los huesos. El calcio de-

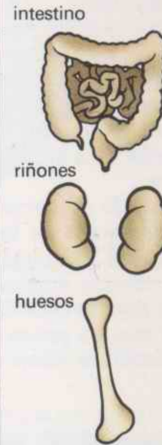


Tras el aluminio y el hierro, el calcio es el tercer metal en orden de abundancia en la corteza terrestre (y el quinto en absoluto). En los seres vivos en general, el calcio es el metal más difundido; en el cuerpo humano en particular, de cada mil átomos constituyentes, cerca de tres son de calcio. En la Naturaleza el calcio se presenta siempre como compuesto. Con gran diferencia, el más importante es el carbonato de calcio, que forma la calcita (arriba, a la izquierda), constituyente fundamental de las rocas calizas, a las que pertenecen también el mármol y los alabastros. En carbonato de calcio han sido "modeladas" algunas de las más espectaculares arquitecturas espontáneamente creadas por la Naturaleza, como las cascadas "petrificadas" de Pamukkale, en Turquía (fotografía de la derecha), o las fantásticas esculturas de estalactitas y estalagmitas de las grutas, o la ciudad Encantada de Cuenca.



EL CONTROL DEL CALCIO





La mayor parte de la sustancia mineral contenida en los huesos y en los dientes está constituida por fosfato de calcio, un compuesto formado por calcio, fósforo y oxígeno: es en esta forma en la que son "fijados" en el cuerpo humano un promedio de 1.500 gramos de este elemento alcalinotérreo. El calcio necesario para el organismo se adquiere con el alimento (por ejemplo, la leche, el queso, las verduras verdes y las legumbres secas) y se asimila a través del aparato digestivo, bajo el control de las glándulas paratiroides situadas en el cuello: las paratiroides segregan una hormona que regula el intercambio de calcio entre la sangre y los huesos, además de la eliminación de los fosfatos en la orina a través de los riñones.

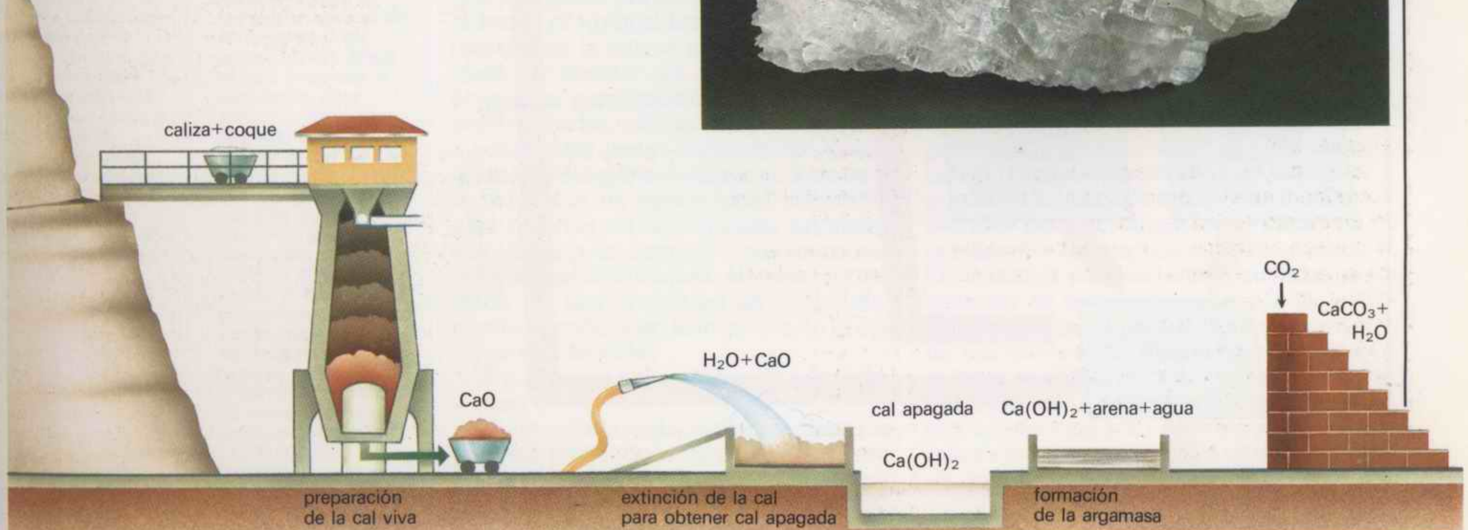
Calentando juntos cal (óxido de calcio) y carbón en un horno eléctrico, arriba, se obtiene carburo de calcio, importante intermediario para la preparación de un abono nitrogenado, la cianamida cálcica, que en el terreno se combina con el agua liberando lentamente amoniaco. En la imagen inferior, preparación de la cal por cocción de rocas calizas. El carbonato de calcio calentado a cerca de 900 °C se transforma en óxido o cal viva; ésta, tratada con agua, se transforma en cal apagada (hidróxido de calcio) que, amasada con agua y arena, da la argamasa aérea, utilizada para mantener unidos los ladrillos: la adhesión ocurre en cuanto la cal reacciona con el dióxido de carbono del aire formando carbonato (endurecimiento). A la derecha, bajo estas líneas, variedad de yeso llamada *anhidrita*.

sempeña también un papel importante en la correcta tonificación de los músculos.

El papel del calcio, ya sea en la Naturaleza y en los organismos o en la industria, desde el robustecimiento de los dientes y de los huesos, o de las cáscaras de los huevos y de los moluscos, hasta las torres de hormigón, es el de un "material de construcción" extraordinariamente universal.

Véase **Magnesio; Metales alcalinotérreos**





Calculadora de bolsillo

En los últimos años, pocos inventos han contribuido tanto a reducir el tiempo que emplean en trabajar ingenieros, hombres de negocios y estudiantes como la calculadora. Este dispositivo electrónico versátil se basa en la utilización de circuitos integrados, que pueden realizar una gran variedad de operaciones aritméticas. A pesar de la gran capacidad operativa, la mayor parte de los modelos no supera el tamaño de un paquete de cigarrillos, y están alimentados por una pequeña pila.

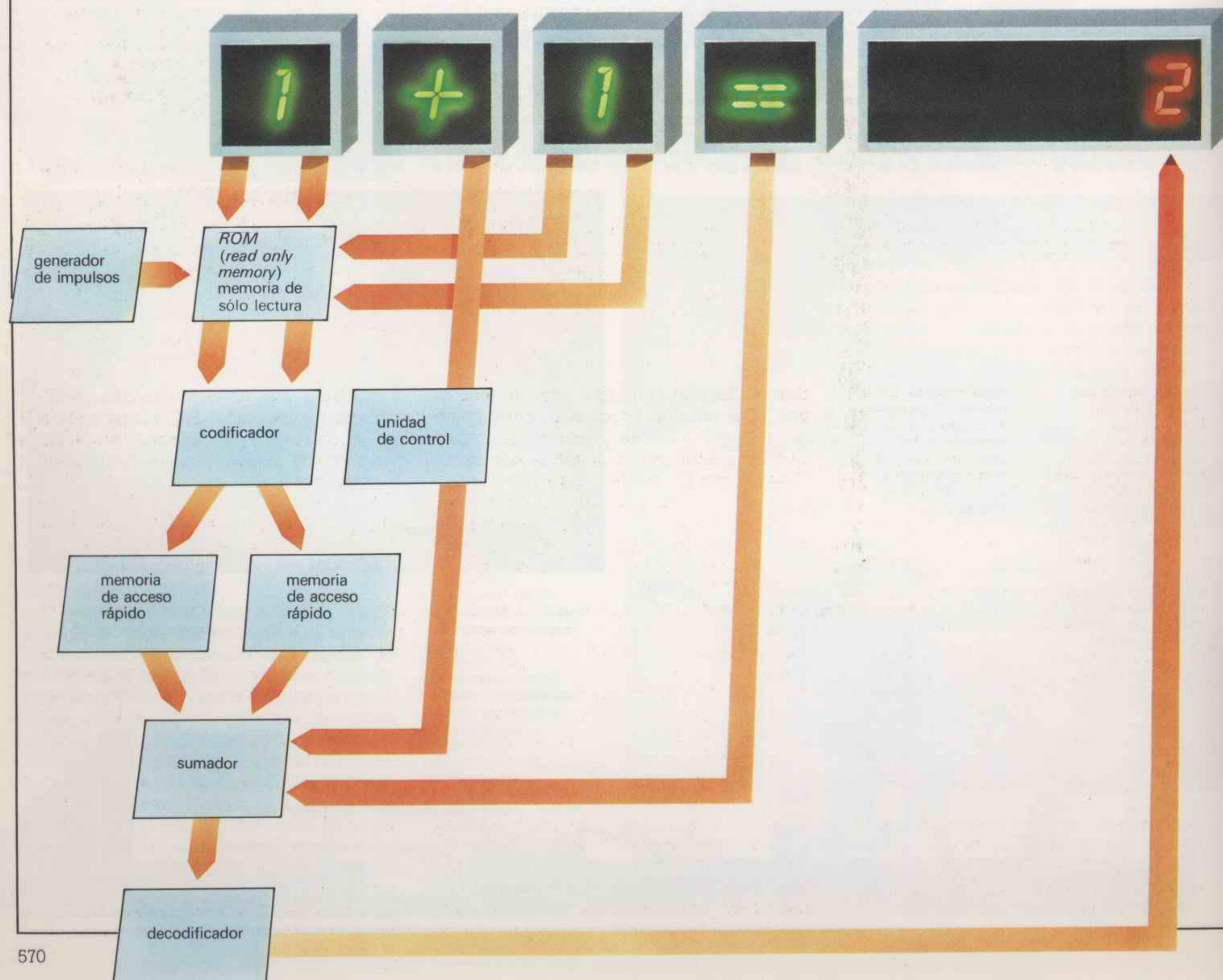
Propiedades de las calculadoras Todas las calculadoras tienen por lo menos quince teclas, que corresponden a las cifras de 0 a 9 y a las cuatro operaciones aritméticas: suma, resta, multiplicación y división. Además tienen una tecla de borrador, que anula los números y las intrucciones dadas anteriormente.

Sobre el cuadro de teclas de números y operaciones, en la parte superior de la calculadora, se encuentra una pequeña pantalla o visualizador de diodos emisores de luz (*LED*) o de cristal líquido (*LCD*), que presenta los números que va procesando la máquina. La cantidad de números que se pueden ver a la vez en la pantalla varía entre un mínimo de seis y un máximo de quince. La coma decimal, al ser "flotante", puede aparecer a la derecha de cualquier número.

Las operaciones de una calculadora se llevan a cabo por medio de circuitos integrados, minúsculos conjuntos de millares de transistores que se basan en los mismos principios que los utilizados en los grandes ordenadores. Estos circuitos integrados, llamados a menudo *chips*, están constituidos por un número de conmutadores variable —de 2 a 256.000— montados sobre una pequeña placa de silicio del tamaño de una uña. Cada conmutador tiene en un determinado momento dos estados posibles: encendido (*on*) o apagado (*off*). Las calculadoras, como todos los ordenadores actuales, trabajan con los datos convertidos en series de ceros y unos, sistema que recibe el nombre de *lenguaje-máquina*. La utilización de este lenguaje se debe a que en los circuitos electrónicos resulta muy fácil hacer la correspondencia entre los estados de los circuitos y los ceros y unos. Por ejemplo, cuando un conmutador está encendido o en conducción (*on*), representa un 1, y cuando está apagado o en corte (*off*), representa un 0.

En estos circuitos hay una pequeña memoria de tipo *ROM* (*Read Only Memory*, o "memoria de sólo lectura") en la que están almacenados en lenguaje-máquina pequeños programas con las instrucciones necesarias para realizar la suma, resta, multiplicación, división y cualquier otra función que realice la máquina. Esta forma de trabajar se debe a que las operaciones que en realidad sabe hacer la máquina son únicamente la suma y la resta; las demás se hacen en base a estas dos. Por ejemplo, la multiplicación se realiza como una serie de sumas y la división como una serie de restas. Los números introducidos por el operador se almacenan temporalmente en una memoria *RAM* (*Random Access Memory*, o "memoria de acceso aleatorio"), que tiene capacidad para los números introducidos y para los que se van produciendo a medida que trabaja la calculadora.

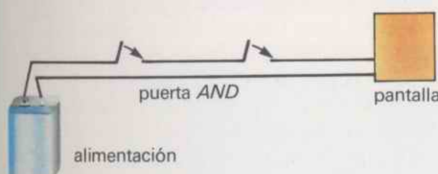
Calculadoras programables Las calculadoras varían mucho en capacidad y precio. Las más perfeccionadas, que pue-

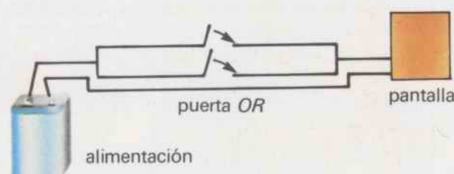


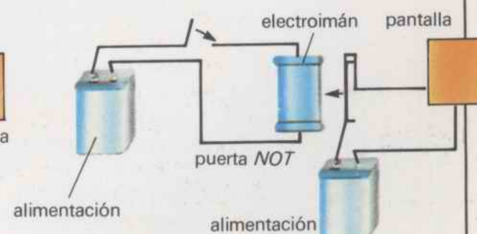
pantalla
alojamiento para la pila
selector de función
teclado numérico
tecla para el avance del papel
almacén para el papel
teclado para el cronómetro
pantalla
tecla para la selección de impresión

En el diagrama de la izquierda (página anterior), se puede ver paso a paso el proceso de ejecución de la suma 1+1=2; ésta es la operación más simple de las que se pueden realizar con una calculadora. El primer paso es apretar la tecla marcada con la cifra 1: la presión del dedo hace que se cierre un contacto para que tengan tensión dos líneas. Dos impulsos eléctricos van hasta el "cerebro" de la calculadora y desde aquí son desviados al codificador. A través del programa, el codificador decide que se trata del número 1, el código correspondiente se introduce inmediatamente en la memoria y el número aparece en la pantalla a través del decodificador. Cuando apretamos la tecla con el signo "+" de suma, se cierra el contacto correspondiente proporcionando tensión a dos líneas, y los impulsos eléctricos que las recorren llegan a la unidad de control; esta unidad hace que el programa se oriente hacia la operación suma. Finalmente, apretamos de nuevo la tecla marcada con el número 1: se realizará el mismo proceso que se ha descrito anteriormente y el número se almacenará en la memoria de acceso rápido. Ahora ya está preparada la calculadora para realizar la operación deseada: será suficiente con apretar la tecla con el símbolo "=" para que el sumador dé el resultado, que se almacenará en la memoria de acceso rápido. A través del decodificador, que transforma los números de binario a decimal, aparecerá en la pantalla la cifra 2. La calculadora tarda en hacer cada paso 1/250.000 de segundo, aunque nos parezca que la operación es instantánea.

Abajo están representadas esquemáticamente las tres puertas básicas que permiten que la calculadora tome decisiones lógicas: la puerta *AND*, la puerta *OR* y la puerta *NOT*. Si un solo conmutador puede responder a una orden Sí/No, dos conmutadores pueden relacionar las dos respuestas transformándolas en respuesta lógica. Arriba, a la izquierda, vemos dos ejemplos extremos de calculadoras de bolsillo. La más pequeña tiene el tamaño de un carnet, funciona con una pila plana con forma de disco y tiene reloj, cronómetro de décimas de segundo y memoria. La segunda tiene las mismas características aritméticas, no tiene reloj, pero tiene una impresora térmica, con un rollo de papel situado en el pequeño almacén de la parte superior.







den realizar un número mayor de funciones y se pueden programar, cuestan en general entre quince y veinte veces más que las menos perfeccionadas. Las calculadoras programables son capaces de trabajar de la misma manera que un pequeño ordenador, ya que se las puede programar para realizar sumas, restas, raíces cuadradas, cálculo de porcentajes y muchas otras tareas matemáticas. El programar la máquina consiste en introducir la secuencia de operaciones necesarias para resolver un determinado problema. Por ejemplo, un banquero que tenga que obtener constantemente el valor aproximado de una propiedad en cinco años puede introducir en la memoria de la máquina esta fórmula:

$A \times B$ meses $\times$ C interés $\times$ D inflación = = suma E

Apretando la tecla correspondiente, se puede ir grabando la fórmula en la memoria de la calculadora. Luego, cada vez que se quiera usar bastará con pulsar determinada tecla indicadora de que se va a utilizar. A través de las teclas de cifras se introducen los valores *A*, *B*, *C* y *D* para el caso particular y la calculadora dará el resultado en un tiempo muy corto, menos de un segundo.

Funciones especiales Puesto que los avances de la microelectrónica permiten la fabricación de circuitos integrados especializados de bajo coste, muchas calculadoras tienen incorporado un reloj, en el que se ve la hora si la calculadora está encendida, pero que sigue funcionando, para mantener la hora, cuando está apagada. Estos relojes pueden tener guardadas secuencias de señales complejas, e incluso se pueden programar para que toquen notas musicales en un determinado momento (cada media hora, cada hora o en un determinado día). Algunas calculadoras tienen además juegos electrónicos simples, que se pueden ver a través de su pantalla de cristal líquido.

Véase **Ordenador; Ordenador, memoria de**

Cálculo numérico

El *Cálculo*, o *Análisis, numérico* es una de las disciplinas matemáticas más recientes, de evolución más acelerada y, también, de mayor utilidad práctica. Su objeto es, dicho sea de modo sencillo e informal, el desarrollo de técnicas de análisis y de *algoritmos* para obtener soluciones numéricas de los problemas matemáticos, o informaciones de dicha clase útiles cuando no sean posibles aquéllas. Conviene señalar que ello no quiere decir que se trate de un repertorio de reglas o recetas más o menos particulares y prácticas, sino de un capítulo de la matemática, y por tanto riguroso y general, que usa los métodos propios de dicha ciencia (muchos de ellos tomados del Algebra y el Análisis, otros esencialmente aritméticos, etc.). Pero, sin poner en duda lo anterior, se trata también de una disciplina absolutamente volcada a la práctica, a las aplicaciones científicas, técnicas, económicas y sociales de la matemática; no sólo busca algoritmos para obtener resultados numéricos (aproximados) de diferentes tipos de problemas o establece teoremas sobre su validez, sino que se marca como norte que dichos *algoritmos* sean realizables, económicos (en tiempo y coste) y eficaces (en cuanto a la aproximación de resultados).

En términos muy esquemáticos podría decirse que la solución de un problema real (su descripción, explicación, previsión o, tal vez, control), sea su naturaleza física, económica o social, pasa por múltiples fases. En primer lugar se elabora un *modelo* teórico —en el ámbito científico de que se trate— que, en base a una serie de experiencias y teorizaciones, da cuenta del fenómeno en cuestión. Si el tipo del mismo y el estado de la cuestión (medios de medida, técnicas de cuantificación, etc.) lo hacen posible, del modelo científico puede hacerse una formulación simbólica o matemática. Normalmente ésta, o *modelo matemático*, tiene la forma de un conjunto de relaciones o ecuaciones entre las variables significativas del fenómeno, en las que entran como datos o parámetros las diferentes características del mismo; por una serie de razones materiales o, en gran parte, por la propia evolución de la Matemática, la inmensa mayoría de los modelos son continuos, es decir, suponen que las variables toman valores en un continuo, o que son analógicas, y las funciones entre las mismas aparecen tratadas con los mecanismos propios del Análisis matemático (se derivan, integran, etc.). Así, por ejemplo, una infinidad de cuestiones no sólo físicas, también económicas, se plantean en términos de ecuaciones diferenciales. Dados dichos modelos, las Matemáticas, en sus variadas versiones, suelen ser capaces de dar múltiples resultados. Por ejemplo, sobre la existencia y unicidad de soluciones o determinando expresiones analíticas (en forma de funciones conocidas, de expresiones integrales o de cualquier otro tipo) que permiten un conocimiento de muchas propiedades de las soluciones. Ahora bien: en numerosos casos —ciencia, ingeniería, economía, etc.— puede ser necesario, además, dar resultados numéricos. Se hace, entonces, preciso, si el modelo no está expresado en términos aritméticos o algebraicos operables numéricamente, hallar una versión aproximada que sí lo esté y, en todo caso, realizar las operaciones aritméticas.

Precisamente el Cálculo numérico es el que se ocupa de esas fases del proceso de estudio, procurando que se hagan de la forma más aproximada en los resultados y más económica en los medios posibles. Tiene, por tanto, una fuerte relación con el Análisis matemático del que, en cierto modo, es una parte, pero también está conectado estrechamente con la Aritmética.

Errores Un concepto fundamental del Cálculo numérico es el de *error*. Cuando se sustituye un *valor numérico exacto* por otro *aproximado*, lo que es a veces inevitable, por tratarse de un número trascendente (es el caso de π o e), del resultado de una operación aproximada, por no ser conocido exactamente o, más simple todavía, por no convenir o no interesar el uso de todas las cifras supuestas conocidas (porque el calculista manual o el ordenador no trabajan con tantas, por ejemplo), se produce un error, que se mide por la diferencia entre el valor exacto y el aproximado; este error se llama *absoluto* para distinguirlo del *relativo*, que es el cociente del mismo por el valor exacto. Como es obvio, el *error* es desconocido y, por tanto, se sustituye por una cota superior de su valor absoluto (una *cota superior* de un número desconocido es otro que se sabe que es mayor; el *valor absoluto* de un número es él mismo sin signo).

Descontando los errores debidos a fallos garrafales, o grandes errores, y los que proceden de resultados de medidas experimentales, hay otros de tipo estrictamente matemático, que aparecen en los procesos de cálculo aritmético, o dependiendo del tipo de la aproximación. Conviene distinguir los casos que pueden darse. Se llama *error de truncación* el que procede de sustituir el resultado de un proceso infinito por uno finito; por ejemplo, se sustituye el valor de una serie por la suma de los primeros téminos o se toma un cociente o una raíz por defecto en vez de los valores exactos. Se denomina *error de redondeo* el que resulta de tomar como aproximación de un valor exacto sólo el valor dado por sus primeras *n* cifras. A veces, por conveniencia y para evitar imprecisiones, se dice que son *errores de truncación* los que no son ni de redondeo ni grandes errores.

La determinación de los errores de las diferentes operaciones, conocidos los de los datos, es una de las primeras tareas del Cálculo numérico. Dicho conocimiento permite estimar los errores de las soluciones de los problemas y aceptar o no su validez.

Aproximación de funciones El problema de dar valores aproximados, y estimaciones de los errores que se cometen, cuando se trata de un número es lo suficientemente complicado como para que se intuyan las dificultades que aparecen en la aproximación de funciones. Sin embargo, ésta es ineludible. En la inmensa mayoría de los problemas intervienen, de una u otra forma, funciones, y éstas pueden venir dadas no sólo por fórmulas explícitas sino, caso más frecuente, estar definidas como soluciones de ecuaciones diferenciales o de otros tipos, procesos de optimización, etc. Como es natural, cuando se trata de obtener resultados numéricos los infinitos valores que toma, en un intervalo continuo, la variable independiente y los correspondientes valores de la función son inmanejables.

Se trata entonces de sustituir la función por una aproximación sencilla; caben innumerables expedientes: por ejemplo, representarla sólo por los valores en un número finito de puntos o aproximarla por una combinación lineal de funciones sencillas y tabuladas (en cuyo caso la función queda caracterizada por los coeficientes de la combinación). Para este fin, los polinomios, o las funciones trigonométricas, pueden resultar lo más cómodo.

El problema consiste, en tal caso, en dar un criterio sobre la bondad de la aproximación o medida del error. En este punto el Análisis numérico recibe la ayuda del Análisis Funcional que permite establecer la *distancia* entre dos funciones. Según como se defina dicha distancia se dará un tipo u otro de aproximación. Así, por ejemplo, si se trata de funciones reales de variable real definidas en un intervalo cerrado y acotado $[a, b]$, un tipo usual de *distancia* entre dos funciones es el número resultante de medir la mayor de las desviaciones, en valor absoluto, entre las mismas. En este caso si se aproxima una función continua por otra perteneciente a un conjunto sencillo (por ejemplo el de los polinomios que se prestan a manejo numérico simple) el error, o su cota, corresponderá al mayor de los errores puntua-

Para estudiar un *sistema real* —físico, biológico, económico o de otro tipo— las ciencias particulares ofrecen teorías y métodos que, con mayor o menor trabajo y fortuna, permiten elaborar un modelo teórico de su comportamiento. En muchas ocasiones es posible avanzar un paso más y dar una versión simbólica del mismo, en forma de un conjunto de relaciones matemáticas. Dicho conjunto, o *modelo matemático*, puede tratarse con los métodos propios de la matemática y obtener múltiples resultados de él. En la inmensa mayoría de los casos, es también preciso conocer valores numéricos y, por tanto, aplicar los métodos del *Cálculo numérico*, sea directamente o, si es necesario, previa discretización. Por último, la informática permite, cuando la complejidad del modelo o la cantidad de datos lo aconsejan, mecanizar los cálculos. Como es natural, en cualquiera de las fases de análisis es necesario contrastar los resultados científicos, y el comportamiento empírico del sistema real para *validar* los modelos.

CIENCIAS PARTICULARES (FISICA, BIOLOGIA, ECONOMIA, ETC.)

REALIDAD

Validación

Modelización

Modelo teórico

MATEMATICA

Matematización

Continua

Discreta

Modelo matemático continuo

Discretización

Modelo matemático discreto

$\int \frac{dx}{x} = \log x + C$

$e^{2\pi i} - 1 = 0$

Análisis numérico

Algoritmo numérico

INFORMATICA

Programación

Programa

Explotación informática

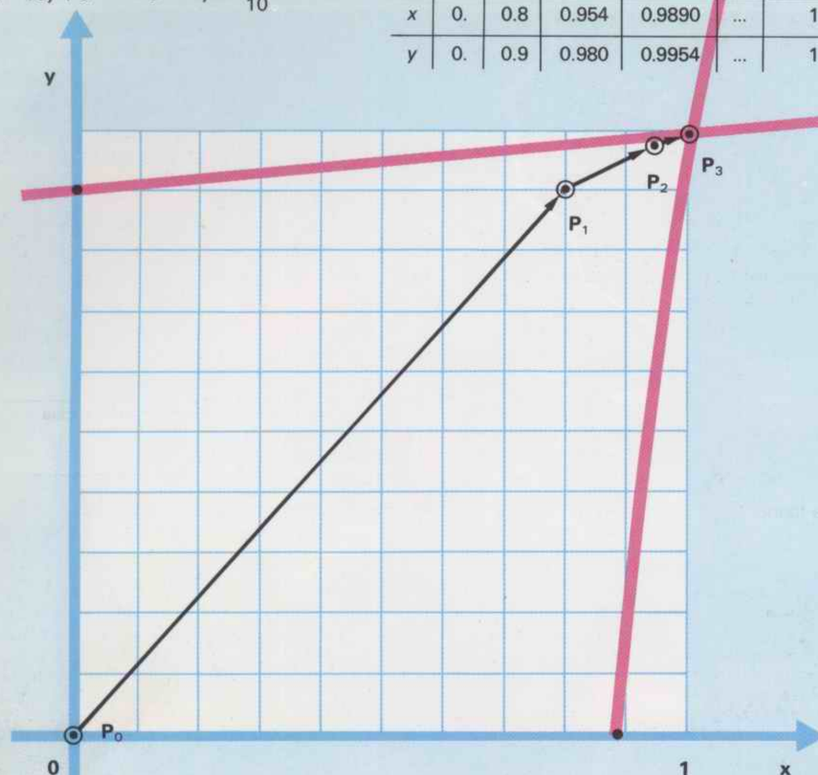
Soluciones numéricas

$x^2 - 10x + y + 8 = 0 \qquad x = \frac{x^2 + y + 8}{10}$

$x - 10y + 9 = 0 \qquad y = \frac{x + 9}{10}$

Iteraciones

	P_0	P_1	P_2	P_3		Solución «exacta»
x	0.	0.8	0.954	0.9890	...	1.
y	0.	0.9	0.980	0.9954	...	1.



La ilustración muestra la solución, por el método de aproximaciones sucesivas, de un sistema de dos ecuaciones (una lineal y otra cuadrática). La solución exacta es $x = y = 1$, y representa el punto de intersección de la recta y la parábola representativas de las dos ecuaciones. Las aproximaciones sucesivas dadas numéricamente en la tabla y gráficamente en la figura, tienden muy rápidamente, desde una primera situada arbitrariamente en el origen de coordenadas, hacia la solución exacta. Para calcular la aproximación de un cierto orden basta sustituir en los segundos miembros de las fórmulas los valores correspondientes a la anterior. El ejemplo no sólo muestra la *bondad* del método sino, también, sus riesgos. En efecto: piénsese que el sistema tiene dos soluciones (correspondientes a los dos puntos de intersección) y sólo hemos hallado uno, que ha dependido del punto de partida. Partiendo de otro hubiéramos podido, incluso, formar una sucesión divergente. De ahí la necesidad, no sólo en Cálculo numérico sino en otras ramas de la Matemática, de recurrir a teoremas que den condiciones de aplicabilidad del método.

les que se cometa. Este tipo de aproximación se llama *uniforme* y existe un teorema (debido a Weierstrass en 1885) que asegura que siempre es posible encontrar un polinomio que, en un intervalo $[a, b]$, aproxime uniformemente a una función dada $f(x)$ con error prefijado. Esto quiere decir que si se tiene la función $f(x)$ y se da un valor numérico real $\varepsilon > 0$ se puede encontrar un polinomio, $P(x)$, tal que

$$|f(x) - P(x)| \leqslant \varepsilon$$

para cualquier valor x del intervalo $[a, b]$.

Cabe definir otros tipos de distancias (tantos tipos como se quiera y según convenga a cada problema concreto). Sin embargo los usuales no son tantos. Otra muy utilizada es la de tipo cuadrático, que sirve aunque las funciones no sean continuas, definida como la raíz cuadrada de la suma o integral del cuadrado de las diferencias puntuales entre las dos funciones.

Métodos de cálculo numérico Junto a una parte, que pudiéramos llamar general, del Cálculo numérico que se ocupa de errores, aproximaciones y métodos, por ejemplo técnicas de discretización, aplicables a una gama amplia de problemas, se encuentran una serie de capítulos especializados. Entre los más importantes figuran: los dedicados a la solución numérica de ecuaciones algebraicas (antes un tema notable del Algebra) y trascendentes; los que tratan de los sistemas de ecuaciones lineales; los de la diferenciación e integración numérica; y los sumamente interesantes y específicos de la solución numérica de ecuaciones diferenciales y otros tipos de ecuaciones funcionales.

Es relativamente frecuente que dichos capítulos se encuentren igualmente incluidos en textos y tratados relativos a los temas objetos de solución numérica. Así en un libro del Cálculo Integral puede hallarse un buen tratamiento de la integración numérica. Incluso, dado el enorme grado de desarrollo recientemente alcanzado en estos temas, es fácil encontrar monografías extensas relativas a cuestiones muy concretas (por ejemplo: solución numérica de un tipo particular de ecuaciones en derivadas parciales aplicando un determinado método). No es, pues, posible ni siquiera hacer una enumeración de dichos capítulos especializados.

Sí conviene, antes de concluir, dar unas breves notas sobre algunas ideas muy generales, que se usan constantemente en Cálculo numérico.

Una de ellas es la de *iteración*. Se dice que se hace una iteración cuando una operación, o un conjunto de operaciones, se repite formando parte de un proceso. El concepto es común en otras partes de la Matemática, la Lógica y la Informática. Los *algoritmos iterativos* son aquéllos que incorporan una o varias iteraciones (naturalmente con una operación de iniciación y otra de conclusión). Un ejemplo típico de algoritmo iterativo es el de aproximaciones sucesivas; por ejemplo, si se tiene una ecuación de la forma

$$f(x) = x$$

se prueba para resolverla con un valor inicial, x_0, y, se hacen iteraciones

$$f(x_0) = x_1;\ f(x_1) = x_2;\ \dots;\ f(x_{n-1}) = x_n$$

Cuando la diferencia entre dos valores sucesivos se hace suficientemente pequeña (menor que un valor prefijado) se da por terminado el cálculo y se acepta la x_n como solución aproximada. Existen (en Análisis abstracto y en Análisis numérico) teoremas que dan condiciones suficientes para que la ecuación $f(x) = x$ pueda resolverse por este método.

El anterior algoritmo puede servir también para ejemplificar la llamada *técnica de cálculo recursiva o recurrente*, fundamental en Análisis numérico (y en otras ramas de la Matemática o la Lógica). En general, consiste en que, en un proceso de cálculo en el que intervienen diferentes valores (en el ejemplo anterior aproximaciones sucesivas, en general resultados finales o intermedios), cada uno se obtiene a partir de los anteriores por una fórmula recurrente o recursiva de la forma

$$u_n = F(u_{n-1}, u_{n-2}, \dots, u_0)$$

Un ejemplo diferente y que muestra como la "lógica" de los numeristas e informáticos puede diferir de la de los algebristas es el siguiente. Para calcular el valor, para un x dado, del polinomio:

$$P(x) = a_0\, x^n + a_1\, x^{n-1} + a_2\, x^{n-2} + \dots + a_n$$

se puede proceder obteniendo las potencias, multiplicado luego por los coeficientes y finalmente sumando, o se puede utilizar la siguiente técnica recurrente:

$$u_0 = a_0$$
$$u_1 = xu_0 + a_1$$
$$\dots\dots\dots$$
$$u_n = xu_{n-1} + a_n$$

que, evidentemente, da $P(x) = u_n$. La diferencia está, entre otras ventajas, en que el método recurrente permite el cálculo de $P(x)$ con n multiplicaciones, mientras que el que parece método obvio obliga a $2n$-1 multiplicaciones.

En muchos casos (diferenciación e integración numéricas y solución numérica de ecuaciones diferenciales, por ejemplo), una cuestión básica que hay que resolver es la de dar una aproximación *discreta* del modelo continuo de que se trata, para po-

der luego hacer los cálculos aritméticos (con las técnicas que convenga y con los errores que proceda). Dicha discretización puede hacerse de forma más o menos directa. Por ejemplo: una integral puede reducirse a una suma de valores intermedios de la función subintegral por los anchos de intervalos; una derivada, al cociente de incrementos; y una ecuación diferencial, a una ecuación en diferencias finitas. Esto resulta a veces innecesariamente artificioso. Piénsese, por ejemplo, en un fenómeno esencialmente discreto (el crecimiento de una población o el movimiento de un conjunto de moléculas gaseosas) que se modeliza con una ecuación diferencial, que luego, para obtener valores numéricos, se aproxima por una ecuación en diferencias finitas. Para obviar este largo proceso se está, cada vez más, fomentando la que se llama matemática finita (la que huye del uso del continuo) y tratando discretamente los problemas discretos. De todos modos puede resultar que el elevado número de variables haga impracticable incluso el planteamiento exacto del modelo discreto. Por ello, en tiempos recientes, se están desarrollando métodos aproximados *directos*, que tratan de obviar modelos continuos diseñando, desde un principio, modelos discretos; uno muy extendido en Resistencia de materiales y otras técnicas es el llamado de los *elementos finitos*, porque su idea básica consiste en aproximar el cuerpo en estudio por una red finita de puntos y, por aplicación de las leyes físicas que hagan al caso, obtener un sistema finito de ecuaciones, que puede resolverse numéricamente.

Cálculo numérico e Informática Aunque la diferencia que va de los métodos aproximados y la Teoría de errores de hace unos años al Cálculo numérico actual se debe a múltiples razones —necesidades prácticas de nuestras sociedades técnicas, evolución interna de la matemática, etc.— no cabe ninguna duda de que el salto cualitativo entre ambos tiene una relación muy estrecha y absolutamente decisiva con la aparición y desarrollo de los ordenadores.

La mayor parte de los algoritmos que estudia el Cálculo numérico están pensados, y son posibles, en función de su puesta en práctica por ordenadores. Es más, la propia disciplina se ha desarrollado por las posibilidades que las modernas calculadoras digitales han aportado. Sin embargo, convendría insistir, una vez más, en que las relaciones ordenador/cálculo (o, más general, informática/matemática) no son tan mecánicas, lineales y unidireccionales como pudiera creerse a primera vista. Señalemos algunos matices, que muestran la complejidad de la cuestión.

En primer lugar el Cálculo numérico es una disciplina estrictamente matemática con conceptos y métodos propios. No sólo elabora algoritmos que, al menos teóricamente, son independientes de su posible puesta en práctica por medios manuales o mecánicos, sino que, también, estudia, en supuestos generales, el grado de aproximación de los mismos, su estabilidad, técnicas para mejorarles, etc. Incluso estudia la propia disposición de los problemas para extraer de ellos soluciones numéricas.

En segundo término, y reconocida la evidencia de que el Cálculo numérico, al menos en su estado actual, es impensable sin los ordenadores, no es menos cierto que el desarrollo de éstos, tanto en su aspecto material —*hardware*— como en el de su aplicación —*software*—, ha sido fuertemente influido por las ideas y las necesidades marcadas por el Cálculo. Por ejemplo, y haciendo abstracción de las aplicaciones no matemáticas (proceso de datos), no se hubieran desarrollado tanto las calculadoras electrónicas digitales si no se hubiese dispuesto de métodos numéricos que hicieran interesante utilizarlas.

A la vista de lo dicho, conviene —al tratar con problemas reales— distinguir lo que es propio del Cálculo numérico —discretización, diseño del algoritmo numérico, estudio de errores, etc.— de lo que es propio del siguiente proceso informático, que puede no existir si el cálculo es factible manualmente, es decir, la programación, explotación, etcétera.

Véase **Algoritmo; Ecuaciones en diferencias finitas; Ordenador**

El organigrama representa un algoritmo clásico para el cálculo de $\sqrt{a}$ con error menor que ε. Es interesante señalar las diferentes técnicas que se han puesto en juego para establecer dicho algoritmo: Primero se ha sustituido el problema de calcular $\sqrt{a}$ por el de resolver la ecuación $x^2 - a = 0$. Luego se ha sustituido la ecuación por la equivalente $2x^2 = x^2 + a$ que, a su vez, se ha dispuesto en la forma que conviene para aplicar el método de aproximaciones sucesivas

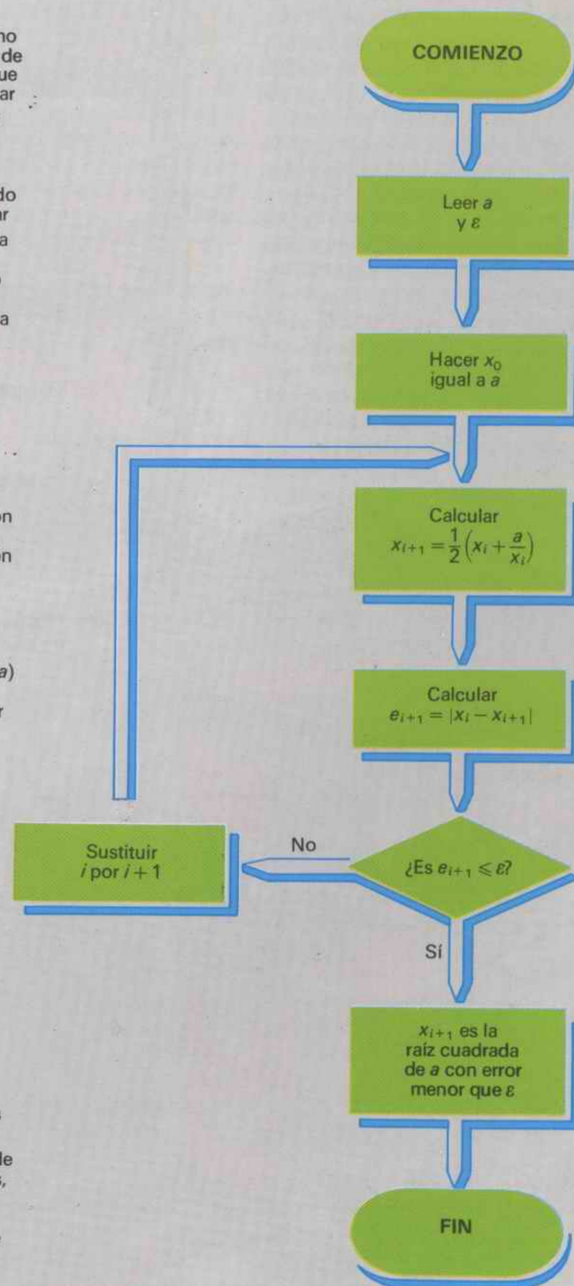
$$x = \frac{1}{2}\left(x + \frac{a}{x}\right)$$

Por último, la aplicación de éste reduce el problema a la obtención de la sucesión

$$x_0, x_1, x_2, \ldots, x_i, \ldots$$

en la que x_0 puede ser arbitrario (aunque por conveniencia se toma a) y cada término se deduce del anterior por la fórmula

$$x_{i+1} = \frac{1}{2}\left(x_i + \frac{a}{x_i}\right)$$



El algoritmo se concluye cuando $e_{i+1} = |x_i - x_{i+1}| \leqslant \varepsilon$, ya que, como se demuestra fácilmente, todos los valores son aproximaciones por exceso, que tienden rápidamente a $\sqrt{a}$ y los errores $x_{i+1} - \sqrt{a}$, con la posible salvedad de las primeras iteraciones, son menores que los correspondientes e_{i+1} (si ε es suficientemente pequeño este extremo queda asegurado porque el error es del orden de ε^2).

Calefacción central

El concepto de "calefacción" ha cambiado notablemente desde los tiempos en que ésta se limitaba a ser un simple fuego con una salida para el humo. En general, la calefacción doméstica ha tenido un desarrollo paralelo al de la construcción de viviendas. En un conjunto de edificaciones más o menos grande, empleado como residencia o para fines comerciales, se sigue hoy el principio de la calefacción central, que distribuye por todo un edificio el calor originado en una sola fuente.

Principio de propagación del calor El calor se transmite de distintas formas: por *conducción* (transmisión o flujo del calor a través de un cuerpo cuando se calienta una parte de él o se pone en contacto con algo caliente); por *convección* (paso de calor a través de un fluido, líquido o gas, debido al efecto mezclador de las corrientes que se originan cuando éste se calienta); por *radiación* (trasmisión directa del calor de un cuerpo caliente a otro frío: ejemplo típico, los rayos solares que llegan a la Tierra). Los equipos de calefacción central utilizan la convección o la radiación para transmitir calor de la fuente a todo el ambiente, calentando el aire en la estancia o irradiando calor a través del aire, según sea el principio aplicado.

Naturalmente, la transmisión del calor por conducción no es, por motivos obvios,

agua caliente

agua fría

caldera



Arriba, un edificio seccionado en el cual se ve la estructura de una instalación de calefacción central. La fuente de calor estará constituida generalmente por una caldera, situada en el piso más bajo del edificio, que calienta el agua. Esta ascenderá, llevando el calor a los radiadores colocados en los apartamentos. El calentamiento del agua puede producirse por combustión de carbón, de derivados del petróleo, de gas metano o por medio de resistencias eléctricas. Las flechas señalan la dirección del agua caliente que sube hacia los pisos: al estar caliente, es más ligera que la fría, por lo que en muchas instalaciones de pequeña capacidad podría ascender por el principio de Arquímedes; pero para aquellos de cierta importancia se recurre a una bomba que impulsa el agua hacia arriba: al llegar al piso más alto, sale por las tuberías y se vierte dentro de un recipiente desde cuyo fondo desciende hacia la caldera. A la izquierda, algunos de los elementos que se deben tener en cuenta para la prevención de las eventuales dificultades en la calefacción de un edificio. En primer término, el calor necesario es igual a aquel que el edificio mismo, alcanzada la temperatura requerida para la comodidad de los habitantes, perderá hacia el ambiente circundante. Por ello resulta importante conocer la temperatura media del aire de fuera durante toda la estación fría en la que funcionará el sistema de calefacción. Proveer a cada local en proporción a su volumen es inexacto porque no todos los locales tienen la misma superficie sometida al frío. De ahí que las pérdidas en proporción a la superficie expuesta deban ser corregidas según los locales estén al sur o al norte, tengan un desván o una bodega, estén en una esquina o en un frente.

demasiado práctica. Por más que una persona tenga frío, no podrá ponerse en contacto directo con una fuente de calor muy elevada.

Los equipos de calefacción central pueden ser directos o indirectos, según como distribuyan el calor. Los sistemas directos calientan el aire y lo hacen luego circular en la zona a calentar. Los equipos indirectos, por su parte, hacen circular vapor, agua hirviente o calor generado eléctricamente a través de termoconvectores o de radiadores, como modo de transmitir calor al aire de la estancia o irradiarlo hacia sus ocupantes.

Los radiadores y los termoconvectores se sirven de grandes superficies expuestas de metal —buen conductor— para difundir calor. Las unidades de temperatura más baja (como las usadas en los equipos que funcionan con agua caliente) difunden más calor por convección que por radiación: cuanto mayor sea la superficie expuesta, más cantidad de calor se transmite al "remolino" de aire creado en la estancia.

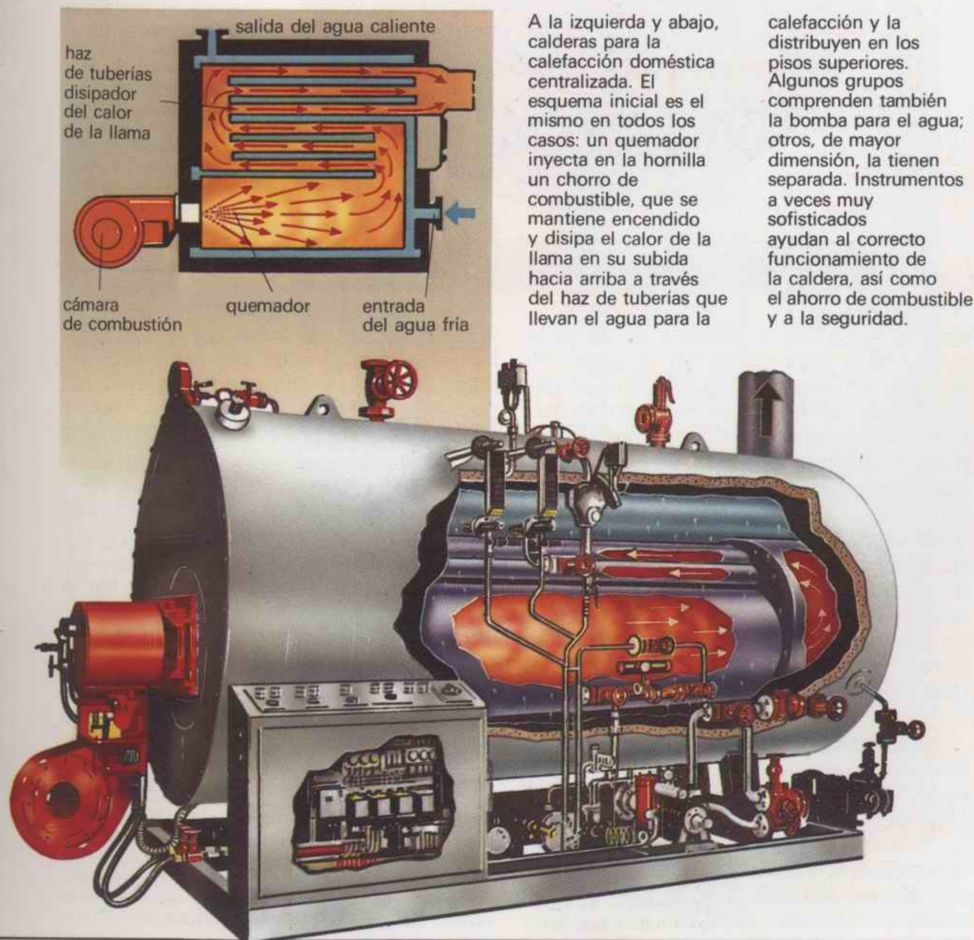
Todos los equipos de calefacción central tienen una sola fuente de calor, que regula automáticamente con un termostato la cantidad de calor emitida. El termostato es sensible a las mínimas variaciones de temperatura en los diversos ambientes a calentar, y hace funcionar el equipo cuando la temperatura desciende bajo el nivel establecido. Otros controles automáticos apagan la calefacción cuando cualquier parte del equipo se recalienta, y evitan que los equipos comiencen a funcionar si existe alguna avería mecánica.

Instalaciones La cantidad de calor producida y la forma de distribución varían según el sistema de calefacción empleado. Las instalaciones de calefacción por aire caliente son directas. El aire es calentado en una caldera e impulsado por un compresor, a través de una serie de conducciones provistas de rejillas, a las distintas estancias. Cuando el aire se enfría, pasa a otro sistema de conductos que lo hacen retornar a la caldera. Existen también unos filtros que limpian el aire del polvo que haya podido recoger en las habitaciones. Inicialmente, los equipos de agua caliente se servían solamente de corrientes de convección para hacer circular el aire. No obstante, para poder crear el movimiento suficiente, la diferencia de temperatura entre el aire caliente y el frío debía de ser bastante considerable, y el resultado eran techos muy calientes y pavimentos fríos. Esta es la razón de que se incorpore el compresor, para garantizar una buena circulación y una mejor distribución de la temperatura.

Las instalaciones de transmisión de calor por circulación de fluido son indirectas. Calientan el aire de las habitaciones por medio de agua o vapor caliente que atraviesa las tuberías y llega a los radiadores de las habitaciones. Estas instalaciones son más costosas que las de aire caliente, pero pueden utilizar tuberías más pequeñas y quemadores de combustible de menores dimensiones.

Algunas válvulas automáticas controlan la cantidad de agua o vapor con mayor facilidad que la cantidad de aire, y en consecuencia pueden controlar mejor la temperatura. Las instalaciones a vapor se sirven de una caldera para calentar el agua y transformarla en vapor. El vapor pasa a través de las tuberías y llega a un radiador, que calienta la habitación. Después de que el vapor ha cedido su calor, se transforma en líquido, que es devuelto a la caldera por la acción de una bomba de condensación. Las instalaciones de agua caliente se sirven de un calentador con agua hirviente y de una bomba de circulación para hacer fluir constantemente el agua por las tuberías hacia los radiadores y hacerla regresar al calentador. Un depósito con capacidad suficiente provee el agua caliente para las habitaciones.

La calefacción por radiación se sirve de un circuito continuo a hilo de resistencia, que, concentrado de la manera justa por medio de superficies o espejos, irradia calor directamente hacia los objetos y sujetos que ocupan la estancia, sin calentar necesariamente todo el aire de la habitación. Los equipos de calefacción eléctrica (o a resistencia) hacen circular de modo similar la electricidad, sirviéndose de espirales de resistencia que no tienen las superficies de espejo para la concentración y en consecuencia deben transmitir el calor mediante corrientes de convección. La fuente de calefacción central para los equipos eléctricos no está en el edificio a caldear, sino que es suministrada por el combustible quemado en el grupo electrógeno que produce la electricidad.



A la izquierda y abajo, calderas para la calefacción doméstica centralizada. El esquema inicial es el mismo en todos los casos: un quemador inyecta en la hornilla un chorro de combustible, que se mantiene encendido y disipa el calor de la llama en su subida hacia arriba a través del haz de tuberías que llevan el agua para la calefacción y la distribuyen en los pisos superiores. Algunos grupos comprenden también la bomba para el agua; otros, de mayor dimensión, la tienen separada. Instrumentos a veces muy sofisticados ayudan al correcto funcionamiento de la caldera, así como el ahorro de combustible y a la seguridad.

Combustibles La mayor parte de las instalaciones quema combustible para producir calor. El carbón, muy difundido, en un tiempo, ha sido ampliamente sustituido por el fuel y por el gas. Estos dos combustibles son limpios y eficientes, pero su disponibilidad varía según la distribución geográfica y las políticas internas. Además, los métodos usados para conseguirlo pueden ser perjudiciales para el ambiente.

La electricidad es una fuente de calor limpia, conveniente y no combustible, pero produce resultados inferiores respecto al fuel o al gas, ya que debe ser transportada a larga distancia, mediante líneas de tensión muy potentes, desde la estación que la genera. Además, la electricidad es comúnmente más cara que los otros combustibles empleados para la calefacción. Un grupo electrógeno debe quemar tres unidades de energía por cada una de las que transmite convertida en electricidad.

Véase **Acondicionador de aire**

Calendario

Un calendario es fundamentalmente un sistema que registra, agrupa y coordina los intervalos de tiempo: días, semanas, meses y años; el calendario actual es asimismo el resultado de cientos de años de cálculos matemáticos, basados en el estudio de fenómenos astronómicos: ciclos del Sol, de la Luna y de la vida sobre la Tierra.

Los calendarios, una invención del hombre que en general divide el tiempo en períodos ordenados y definidos, tuvieron su origen en muchas civilizaciones antiguas como método para tener presente las fiestas religiosas y en especial los trabajos agrícolas: cuándo arar, cuándo sembrar, etc. Se basan en las vueltas efectuadas por la Tierra alrededor del Sol, así como en las de la Luna alrededor de la Tierra. Los modelos aceptados por muchos pueblos —año, mes, día— coinciden en la Naturaleza con el florecimiento anual, los ciclos menstruales de la mujer, la salida del Sol, etcétera.

La unidad fundamental y de mayor brevedad de tiempo es el *segundo*, que dura aproximadamente lo que un latido cardiaco normal. El período que necesita la Tierra para girar en torno al Sol es el *año solar*; el *año lunar*, por su parte, tiene doce meses sinódicos, cada uno comprende el intervalo entre una luna nueva (luna creciente) y la sucesiva. Se podría pensar que con todos esos fenómenos naturales la Humanidad no debiera haber tenido ninguna dificultad para elaborar un calendario exacto. Desafortunadamente, esos dos fenómenos no se refieren al mismo período de tiempo.

Doce meses lunares, cada uno de 29,53059 días, corresponden a 354,36706 días, mientras un año solar comprende 365,242199 días, con una diferencia de casi 11 días. Ya que muchas prácticas religiosas se basan en mutaciones lunares, la mayor parte de los compiladores de calendarios han debido resolver el mismo dilema: cómo compensar la diferencia entre dos distintas clases de año. Pensemos en ello como en dos personas de estatura distinta que marchan hacia una misma meta; una es baja (el año lunar) y la otra alta (el año solar). La primera debe dar un mayor número de pasos para mantenerse junto a la otra; de lo contrario, la persona alta la superará. Muchos compiladores de calendarios han afrontado el problema inventando varios modos para "ayudar" al año lunar a "alcanzar" al solar. Así, la mayor parte de los calendarios han variado cada mes el número de los días para conseguir la finalización simultánea de ambos años.



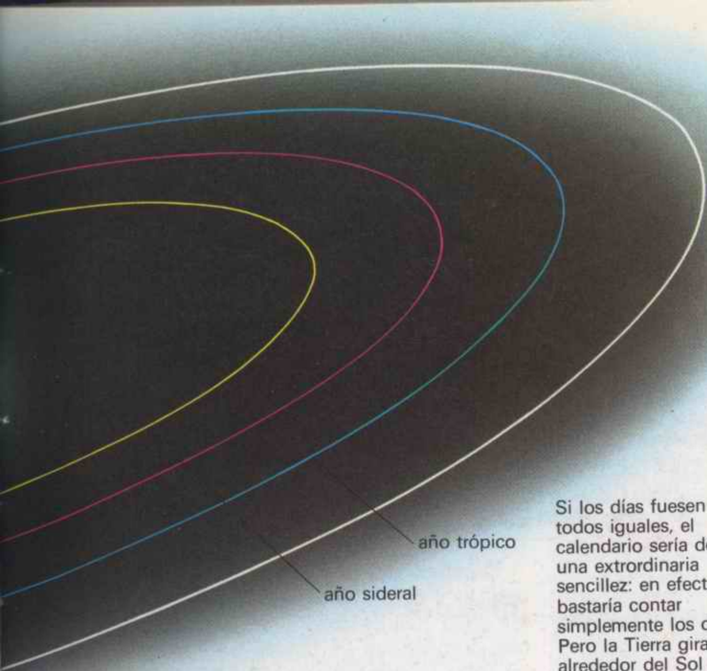
A la izquierda de estas líneas, un calendario azteca esculpido en piedra. En el pasado los calendarios no tenían la difusión que tienen actualmente, con la facilidad de la reproducción en papel impreso. Entonces eran estudiados por los depositarios de la ciencia astronómica, a menudo sacerdotes. Pero su uso era necesario para la gente común. Aquella →

El calendario juliano El año egipcio y el romano dieron origen al calendario juliano, utilizado durante más de 1.500 años. El calendario de la Roma republicana, introducido alrededor del año 600 a. de C., era el lunar, más breve en 10,25 días respecto al año solar de 365,25 días. Cada dos años existía un mes extraordinario, que venía a finales de febrero, tradición por la cual el actual 29 de febrero se da cada cuatro años para completar la parte del año que perdemos. No obstante, en el año 50 a. de C., el año lunar terminó 8 semanas después que el solar, y quedó claro que los romanos no estaban en sincronía con el tiempo. Hacia la mitad del siglo I a. de C., Julio César adoptó un nuevo calendario de 365 días, más un día extraordinario cada cuatro años, entre el 23 y el 24 de febrero. Pero en 1545 el calendario terminó diez días después que el año solar, ya que era 11 minutos y 14 segundos más breve, lo que equivalía a cerca de 1,5 días en dos siglos y a 7 días en mil años.

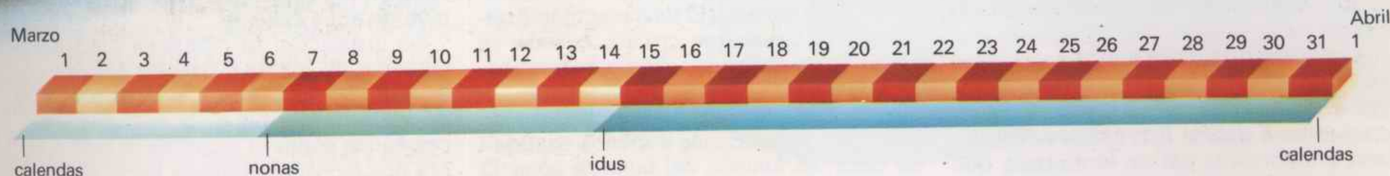
El calendario gregoriano Como la Pascua se basaba en el año lunar, la Iglesia se interesó en el tema y, en febrero de 1582, el papa Gregorio XIII emitió una bula, redactada por el astrónomo jesuita Cristopher Clavius. Se fijaba la duración del año en 365,2422 días, lo que lo abreviaba en 3,12 días cada 400 años. Como compensación, se mantuvieron los años bisiestos, pero ningún año centenario sería bisiesto a menos que fuese divisible por 400. En consecuencia, 1700, 1800 y 1900 no fueron años bisiestos, pero el año 2000 sí lo será.

Nuevos calendarios No todos están de acuerdo con los períodos de vacaciones variables ni con los meses que se inician y terminan en días indistintos de la semana, por lo que se ha propuesto el Calendario Fijo Internacional y el Calendario Mundial. El primero comprende 13 meses (uno de más entre junio y julio) y un día especial después del 28 de junio; cada mes se inicia en domingo y termina en sábado. El segundo, preferido por los hombres de negocios, divide el año en cuatrimestres de 91 días cada uno, con un día extraordinario al término del año.

Véase **Luna; Sol; Tiempo astronómico**



Si los días fuesen todos iguales, el calendario sería de una extraordinaria sencillez: en efecto, bastaría contar simplemente los días. Pero la Tierra gira alrededor del Sol con un eje de rotación inclinado, lo que da lugar a la diferenciación de estaciones. Por ello, a efectos prácticos, el calendario está regulado sobre los cambios estacionales; aunque los científicos encuentran más fácil y conveniente establecer el calendario basándose en otros fenómenos celestes. A la izquierda vemos la órbita elíptica que traza la Tierra en su movimiento de traslación alrededor del Sol. Desde el punto de vista de la dinámica física, un año es el intervalo de tiempo que emplea el Sol en ocupar dos veces consecutivas un mismo punto de su órbita aparente, o sea, en recorrer 360° (año sideral). Sin embargo, desde el punto de vista de la mecánica celeste, parece más lógico considerar que la órbita de la Tierra, como enseñan las leyes de Kepler, es elíptica y que por tanto la realización de una vuelta alrededor del Sol se obtiene cuando la Tierra pasa dos veces seguidas por el perigeo, punto de la órbita en que la distancia al Sol es mínima (año anomalístico). Finalmente, desde el punto de vista de las exigencias prácticas de la vida, un año es el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del Sol por Aries —comprendida entre los 0° y los 30° de longitud astronómica—, cosa que ocurre en el equinoccio de primavera, desde el 21 de marzo hasta finales de abril (año solar o trópico). Sin embargo, cualquiera que sea el tipo de año que se quiera subdividir, ya que ninguno de los tres está formado por un número entero de días, nace la exigencia de una recuperación que es efectuada intercalando de cuando encuando un año con un día más, el llamado año *bisiesto*. Con esto se recupera el día que se pierde evaluando el año como si estuviese formado por un número entero de días.



que vivía lejos de los centros de la cultura tenía necesidad de disponer de un calendario de fácil uso. Este vino dado por las fases de la Luna. Estas se suceden en el mes lunar, que es de aproximadamente 29,5 días; no se puede componer un año exacto con un número entero de meses lunares, pero el uso de las fases de nuestro satélite es tan práctico que los calendarios antiguos se basan o derivan de calendarios lunares. Sin embargo, el mes de los calendarios actuales no es otro que el adoptado por los romanos, luego modificado con las sucesivas reformas que han corregido la acumulación de desplazamientos de inicio de año en el año lunar, introduciéndose los años bisiestos, que son aquellos expresados en una cifra divisible por cuatro (por ejemplo, 1984; pero no los que inician siglo, a menos que sean divisibles por 400, como el 2000). Con este método el calendario introducido por el papa Gregorio —por eso llamado *gregoriano*— será correcto aún por más de un milenio, tras lo cual será suficiente introducir con habilidad una variación de un solo día. Una vez que se haya decidido la duración del año y el modo de regularla para períodos largos, el calendario debe establecer una división práctica del mes. Arriba, la división adoptada por los antiguos romanos. Los días eran denominados en razón de la distancia con la cual precedían o seguían los puntos de partida fundamentales: las calendas, las nonas, los idus. En el calendario perpetuo (a la derecha) los años se suceden todos idénticos. Si se quiere saber qué día de la semana fue el 21 de abril de 1969, se busca en la primera columna el siglo (en este caso se trataría del número 20, que corresponde a la letra E del calendario gregoriano). En la segunda columna se localizan las dos últimas cifras del año (en el ejemplo, 69), que al interseccionar con la fila correspondiente a la letra del siglo (E) de la tercera columna nos da un número (en nuestro caso el 0). Este número sumado a la fecha y al número que aparece debajo del mes correspondiente (en el ejemplo, abril, es decir, 0+21+1=22) da como resultado una cifra (22) que, localizada en la tabla derecha, corresponde al día de la semana buscado (en este caso, lunes).

CALENDARIO PERPETUO

Cartas seculares

Calendario juliano: siglos	a. C.	d. C.	Calendario gregoriano (utilizar a partir del viernes 15 de octubre de 1582)
1	E	U	
2	R	N	
3	S	I	
4	U	V	
5	N	E	
6	I	R	
7	V	S	
8	E	U	
9	R	N	
10	S	I	
11	U	V	
12	N	E	
13	I	R	
14	V	S	
15	E	U	1582
16	R	N	E
17	S	I	R
18	U	V	U
19	N	E	I
20	I	R	E
21	V	S	R
22	E	U	U
23	R	N	I
24	S	I	E
25	U	V	R
26	N	E	U
27	I	R	I
28	V	S	E
29	E	U	R
30	R	N	U
31	S	I	I
32	U	V	E
33	N	E	R
34	I	R	U
35	V	S	I
36	E	U	E
37	R	N	R
38	S	I	U
39	U	V	I
40	N	E	E
41	I	R	R
42	V	S	U
43	E	U	I
44	R	N	E
45	S	I	R
46	U	V	U
47	N	E	I
48	I	R	E
49	V	S	R
50	etc.	etc.	etc.

Año dentro del siglo (los años bisiestos se señalan en negrita)

				U	N	I	V	E	R	S
1	29	57	85	3	2	1	0	6	5	4
2	30	58	86	4	3	2	1	0	6	5
3	31	59	87	5	4	3	2	1	0	6
4	**32**	**60**	**88**	0	6	5	4	3	2	1
5	33	61	89	1	0	6	5	4	3	2
6	34	62	90	2	1	0	6	5	4	3
7	35	63	91	3	2	1	0	6	5	4
8	**36**	**64**	**92**	5	4	3	2	1	0	6
9	37	65	93	6	5	4	3	2	1	0
10	38	66	94	0	6	5	4	3	2	1
11	39	67	95	1	0	6	5	4	3	2
12	**40**	**68**	**96**	3	2	1	0	6	5	4
13	41	69	97	4	3	2	1	0	6	5
14	42	70	98	5	4	3	2	1	0	6
15	43	71	99	6	5	4	3	2	1	0
16	**44**	**72**	**100**	1	0	6	5	4	3	2
17	45	73		2	1	0	6	5	4	3
18	46	74		3	2	1	0	6	5	4
19	47	75		4	3	2	1	0	6	5
20	**48**	**76**		6	5	4	3	2	1	0
21	49	77		0	6	5	4	3	2	1
22	50	78		1	0	6	5	4	3	2
23	51	79		2	1	0	6	5	4	3
24	**52**	**80**		4	3	2	1	0	6	5
25	53	81		5	4	3	2	1	0	6
26	54	82		6	5	4	3	2	1	0
27	55	83		0	6	5	4	3	2	1
28	**56**	**84**		2	1	0	6	5	4	3

para los centenarios no bisiestos

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Oct.	Nov.	Dic.
2	5	5	1	3	6	1	4	0	2	5	0

0 DOMINGO
1 lunes
2 martes
3 miércoles
4 jueves
5 viernes
6 sábado
7 DOMINGO
8 lunes
9 martes
10 miércoles
11 jueves
12 viernes
13 sábado
14 DOMINGO
15 lunes
16 martes
17 miércoles
18 jueves
19 viernes
20 sábado
21 DOMINGO
22 lunes
23 martes
24 miércoles
25 jueves
26 viernes
27 sábado
28 DOMINGO
29 lunes
30 martes
31 miércoles
32 jueves
33 viernes
34 sábado
35 DOMINGO
36 lunes
37 martes
38 miércoles
39 jueves
40 viernes
41 sábado
42 DOMINGO

Calentador de agua

Actualmente pocos hogares carecen de la instalación de un calentador que suministre una cantidad de agua caliente suficiente para la higiene personal y para la limpieza de la casa. Existen en el mercado varios tipos de calentadores, que se diferencian sobre todo por la fuente de calor que utilizan. Antiguamente se usaban mucho los de combustión directa de carbón o de leña, que ahora prácticamente han desaparecido, siendo sustituidos por los eléctricos y los de gas.

El calentador eléctrico También conocido como *boiler*, es cómodo, puede calentar muchos litros de agua y es seguro, al no existir el peligro de emanaciones y fugas nocivas que presenta el de gas; el único inconveniente que tiene es que el agua tarda mucho tiempo en alcanzar la temperatura deseada y, por tanto, el consumo de energía eléctrica es elevado.

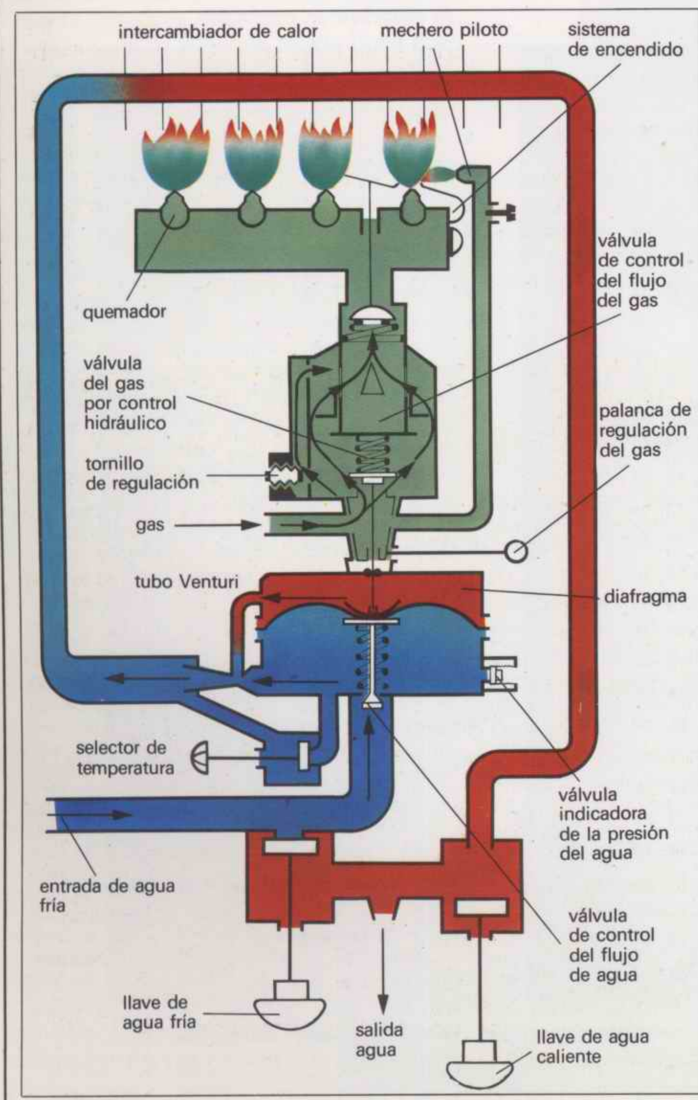
El calentador eléctrico está constituido por un depósito en forma de cilindro que contiene de 15 a 200 litros de agua, en el que está sumergido el elemento calentador, o sea, una resistencia eléctrica convenientemente aislada. Esta última está regulada y controlada por un termostato, que permite el paso de la corriente eléctrica —que enciende el calentador— sólo en el momento en que la temperatura del agua es inferior a la deseada. Por otra parte, entre el depósito y el recubrimiento exterior de chapa que rodea todo el calentador hay una capa de "lana de vidrio", que tiene como cometido el evitar la dispersión del calor; finalmente, dos tuberías conectadas a la instalación de fontanería permiten la entrada del agua fría y la salida de la caliente.

El calentador de gas Aprovecha el poder calorífico de un combustible gaseoso (gas ciudad, metano, etc.) y es un medio práctico y rápido que permite calentar casi instantaneamente los litros de agua necesarios. Está siempre equipado con una válvula de seguridad y con un dispositivo para encender el gas (mechero piloto) cuando es necesario el suministro de agua caliente. El funcionamiento depende del agua que circula: cuando se abre el grifo del agua caliente, su paso hace que se encienda el quemador, que suministra una mayor o menor cantidad de gas y por lo tanto más o menos cantidad de calor, en función del flujo de agua. El calentador de gas está constituido por un serpentín enrollado alrededor de un quemador en forma de paralelepípedo dentro del cual fluyen los gases de combustión. El agua que pasa por el serpentín, "lamido" por los gases calientes, se calienta a su vez.

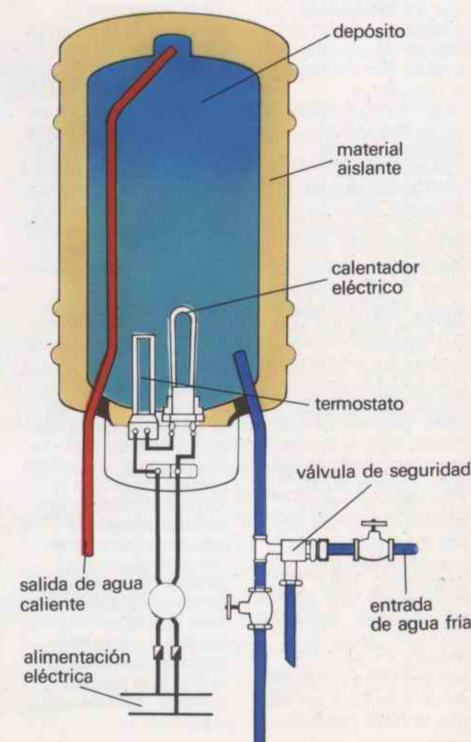
Para evitar emanaciones tóxicas y por lo tanto mortales, el calentador de gas sólo está debidamente instalado y autorizado si está equipado con un respiradero de seguridad que no deja concentrarse los gases de la combustión. Además, algunas legislaciones prohíben la instalación de calentadores de gas en los cuartos de baño.

El calentador de energía solar Los recientes y notables estudios sobre la energía solar han llevado a realizar instalaciones domésticas de placas de energía solar para la calefacción y para la producción de agua caliente.

La instalación se compone fundamentalmente de placas o paneles solares, colectores de color negro, para absorber la mayor parte posible de la energía del Sol, colocados sobre el techo de la casa o sobre una fachada orientada hacia el Sur. A través de ella circula el agua que posteriormente se introducirá en el circuito doméstico normal. Para poder disponer de agua caliente y calefacción también en aquellos días en los que falta la iluminación solar, generalmente la instalación se complementa con un depósito de reserva, aislado térmicamente, donde se acumula el agua caliente. Es obvio que dichas instalaciones están indicadas especialmente para aquellas latitudes en las que la radiación solar es lo suficientemente intensa y prolongada para permitir su funciona-



A la izquierda, esquema general de un calentador de gas. La parte central está constituida por el intercambiador de calor, a través del cual circula el agua, que a su vez es calentada por la llama producida en el quemador. Este último está controlado por el mechero piloto, que está siempre encendido y tiene como finalidad provocar la ignición del flujo de gas emitido por el quemador. Al abrirse el grifo del agua, ésta presiona sobre una válvula de muelle, permitiendo la entrada de gas al mechero. Al cerrarse el grifo, la válvula cierra la entrada del gas y queda sólo la llama piloto. La presión del agua puede regularse manualmente con un pequeño mando situado en la parte exterior del calentador. A la derecha, esquema de un calentador eléctrico. En este tipo de calentador la parte fundamental es el depósito de acumulación del agua caliente, que está aislado térmicamente. El agua se calienta hasta la temperatura deseada por acción de una resistencia eléctrica controlada por un termostato previamente regulado. El usuario que desee agua caliente sólo ha de abrir el grifo del depósito.



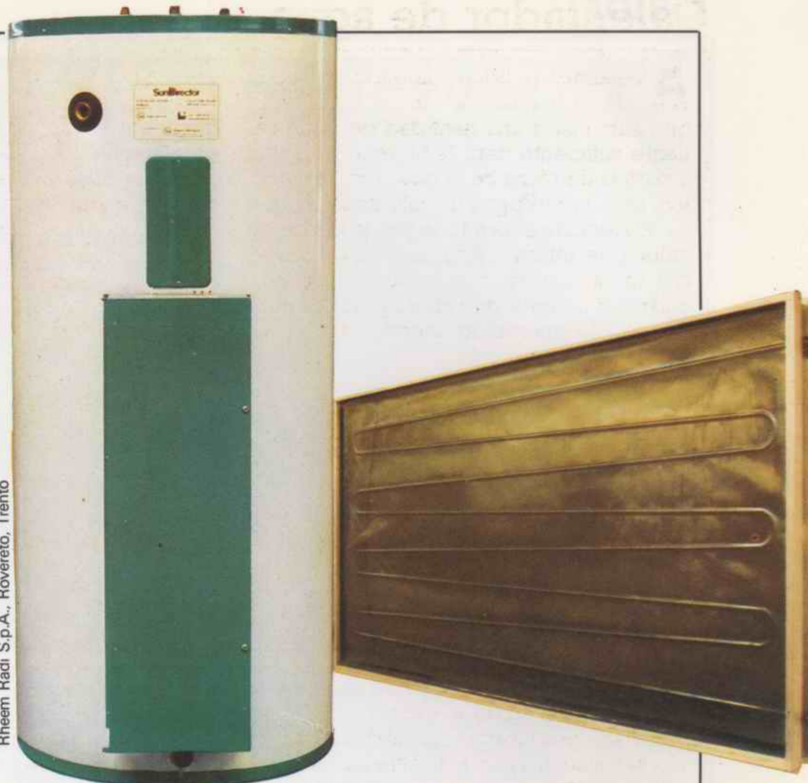
miento normal. En latitudes elevadas su utilización es menos efectiva y es necesario integrarlas en un sistema tradicional de calentamiento.

Las bombas de calor El uso de las bombas de calor constituye un método para utilizar el calor de baja temperatura, generalmente considerado como residual en varios ciclos termodinámicos, y una forma para resolver algunos de los problemas relativos a un racional aprovechamiento energético. La bomba de calor se puede considerar como el inverso del motor térmico. De hecho, absorbiendo trabajo mecánico, transfiere calor de un cuerpo a temperatura inferior a otro a temperatura superior.

Los calentadores domésticos de bomba de calor suministran, de forma gratuita, alrededor de los dos tercios de la energía térmica necesaria, tomándola del ambiente (aire, suelo, cursos de agua, etc.), mientras la restante es suministrada por un motocompresor eléctrico. Generalmente los calentadores de bomba de calor están formados por un depósito para acumular el agua, un grupo térmico y el conjunto de los dispositivos de mando, control y seguridad. El grupo térmico "toma" energía térmica del ambiente y la transfiere, a temperatura más elevada, al agua contenida en el depósito de acumulación. Esto se realiza a través de un circuito cerrado hermético (formado por un evaporador, un compresor, un condensador, una válvula de expansión y varias tuberías de interconexión) por el que circula un líquido especial *termovector*.

El verdadero cuerpo calentador está formado por el condensador y está equipado con una bomba que toma agua fría del depósito y la restituye a temperatura superior, una vez que la ha hecho pasar a través de dicho condensador. Esto asegura una notable eficiencia al ciclo de calentamiento y permite, si es necesario, colocar el depósito de acumulación lejos del grupo térmico. El ciclo de funcionamiento de la bomba de calor está diseñado para una gama de temperaturas ambientales cuyo mínimo y máximo pueden ir, por ejemplo, desde más o menos 5 °C hasta unos 32 °C. Cuando no se producen las condiciones óptimas de funcionamiento, generalmente se prevé la inserción en el sistema de una resistencia eléctrica auxiliar. El consumo, que es bastante bajo en las condiciones normales de funcionamiento, se debe a la alimentación del motocompresor, de un ventilador eléctrico y del circulador.

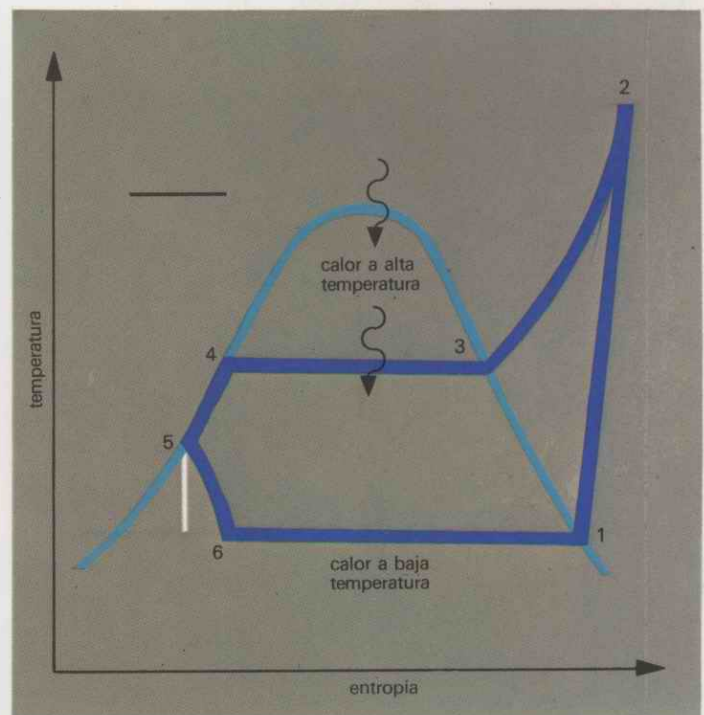
Véase **Calefacción central; Invernadero**



Durante los años de la crisis energética se han desarrollado sistemas aptos para aprovechar la energía solar. A la derecha, la caldera de acumulación y la placa colectora de energía solar empleadas para el calentamiento directo del agua. La caldera, que dispone también de una resistencia eléctrica auxiliar (directamente dentro del agua para calentarla hasta la temperatura deseada en caso de escasez de radiación solar) es fundamental en las instalaciones de placas solares, ya que actúa como "volante" térmico, manteniendo el agua a temperaturas constantes.

Rheem Radi S.p.A., Rovereto, Trento





En el dibujo de al lado aparece representado el principio del funcionamiento de la bomba de calor, incluidos el foco frío del que se extrae el calor, la bomba de calor a la que se suministra trabajo mecánico, y el foco caliente al que se cede el calor. El ciclo termodinámico empleado puede ser un ciclo de Rankine inverso (esquema más a la derecha). Un comprensor comprime vapor desde el punto 1 hasta el punto 2; después el vapor se recalienta, se condensa y el líquido obtenido se enfría hasta alcanzar el punto 5. Posteriormente se reduce aún más la presión (punto 6) y finalmente, a presión casi constante, se vaporiza totalmente el fluido hasta alcanzar de nuevo el punto 1, sustrayendo calor del foco frío. El rendimiento de la bomba de calor para calentar masas de agua es ventajoso, como lo demuestran las numerosas instalaciones de este tipo que funcionan en Europa para calentar piscinas.

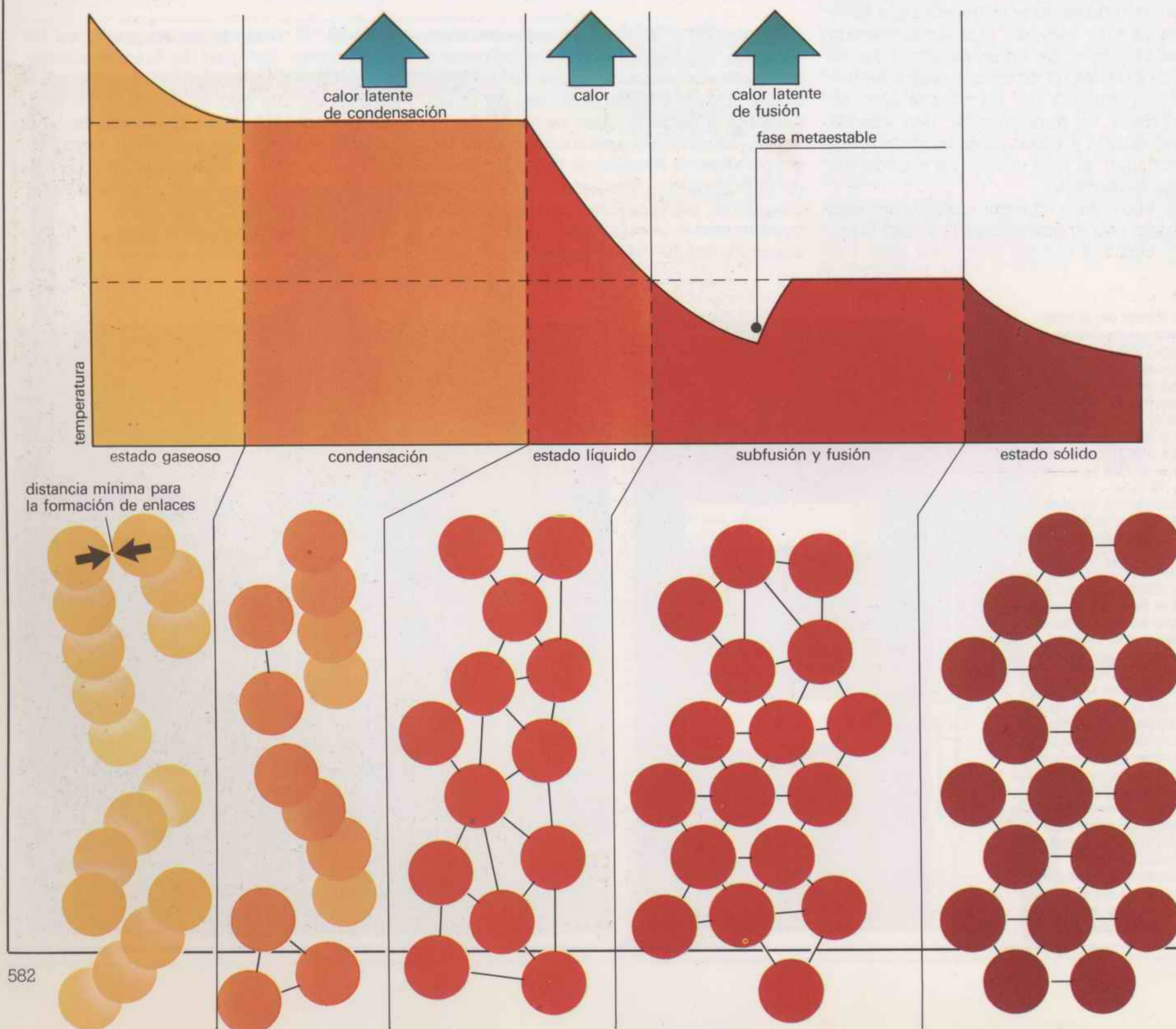
La naturaleza del calor ha sido durante muchos años una de las principales incógnitas de la Física. En la actualidad se sabe que el *calor* es una forma de energía, y como tal, puede transformarse en cualquier otra manifestación de ella. La máquina de vapor, las centrales térmicas y las lámparas de gas son algunos ejemplos de la transformación del calor en movimiento, en electricidad y en luz respectivamente.

La teoría del calórico Los primeros experimentos que se realizaron de forma metódica para encontrar una explicación a los fenómenos caloríficos tuvieron lugar hace tan sólo trescientos años. Lo limitado de los conocimientos de la época obligó a los científicos a establecer una serie de supuestos que se materializaron en la *teoría del calórico*. Esta teoría, difundida inicialmente por el médico y químico Joseph Black, considera al calor como un fluido invisible ("calórico"), que se encuentra inmerso en todos los cuerpos en mayor o menor medida. Cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas se ponen en contacto, tiene lugar una transferencia de calórico del caliente al frío, hasta alcanzar ambos igual tamperatura, del mismo modo que en los vasos comunicantes el nivel del agua se iguala cualesquiera que sean la forma y dimensiones de estos vasos o la altura inicial del agua en cada uno de ellos.

A pesar de su aparente sencillez, no debe considerarse ingenua la teoría del calórico; aún hoy, a la hora de explicar más de un problema, seguimos considerando el calor como un fluido. Sus razonables postulados y su éxito experimental proporcionaron una estructura firme a la interpretación de los hechos observados; por esta razón, resultaba inconcebible para la mayoría de los científicos la explicación de los fenómenos caloríficos dada por una nueva teoría que, apoyada por Benjamin Thomsom, conde de Rumford, comenzaba a abrirse paso a finales del siglo XVIII.

Rumford pensaba que la cesión de calórico de un cuerpo a otro tenía que manifestarse en el peso de ambos, por lo que realizó en una de las balanzas más precisas de Europa múltiples experimentos destinados a comprobar si se producían pequeñas variaciones en el peso de los cuerpos cuando su temperatura cambiaba, pero los resultados fueron siempre negativos. La existencia del calórico implicaba, pues, que el fluido no sólo debía ser invisible sino también, y esto le resultaba más difícil de admitir, imponderable. Más adelante, la enorme cantidad de calor desprendida por fricción en la fabricación de cañones le indujo a pensar en la existencia de una estrecha relación entre los cuerpos en movimiento y el calor por ellos generado. Este nuevo enfoque de la teoría del calor como una forma de manifestación de la energía fue establecido definitivamente medio siglo más tarde, en 1840, con los trabajos de Mayer y Joule.

La nueva teoría Una serie de mejoras en el conocimiento de la estructura de la materia permitió establecer que ésta se encontraba formada por un gran número de partículas discretas, denominadas *moléculas*. Sobre esa base, Maxwell y Boltzmann formularon matemáticamente, en 1860, una interpretación cinética de la naturaleza del calor, conocida con el nombre de *teoría cinética*. Según esta teoría, las moléculas de un cuerpo gaseoso están en continuo movimiento, chocando entre sí. El aporte de calor al gas se traduce en un



incremento de energía cinética de sus moléculas, aumentando el número de choques entre ellas y, en consecuencia, el volumen del gas.

La aportación de cantidades sucesivas de energía calorífica a un cuerpo sólido provoca su transición por los tres estados de la materia. En el estado sólido, las fuerzas de cohesión de origen electrostático entre moléculas vecinas anulan casi totalmente su agitación térmica, reduciéndola a una oscilación en torno a su posición de equilibrio; si la temperatura alcanza un cierto punto llamado *de fusión*, la creciente vibración rompe la estructura cristalina del cuerpo, que pasa del estado sólido al líquido. Las fuerzas de atracción disminuyen y permiten el deslizamiento de las moléculas, cualidad que confiere el alto grado de fluidez a los líquidos. Si continúa el suministro de calor, el movimiento de las moléculas aumenta hasta alcanzar un punto en que, venciendo las interacciones electrostáticas, el líquido pasa al estado gaseoso, donde las moléculas se desplazan en todas direcciones, ocupando por completo el recipiente en que se halla encerrado el gas.

Calor específico El calor que es necesario aportar a un cuerpo para que su temperatura aumente un grado es una cantidad que depende de la estructura molecular del cuerpo que se considere. Esta cantidad de calor, referida a su unidad de masa, se denomina *calor específico* del cuerpo. Los valores para las distintas sustancias varían en un amplio abanico, pero se mantienen (a excepción del hidrógeno y del helio) inferiores al del agua, a la que por definición se le asigna el valor unidad.

Calor latente El aumento de temperatura que se produce en un cuerpo al suministrarle calor no tiene lugar de forma continua. Durante el cambio de estado, toda la energía aportada se utiliza en adaptar la estructura molecular del cuerpo a su nuevo estado, permaneciendo constante la temperatura. Los experimentos de Black en este campo demostraron que esa enorme cantidad de calor absorbida por el cuerpo en el cambio de estado (denominado *calor latente*) era la misma cantidad de calor que el cedido cuando volvía al estado primitivo.

El calor latente de evaporación del agua, junto con su elevado calor específico (3.000 veces superior al del aire), juega un papel fundamental en el proceso de redistribución del calor a escala planetaria. El agua evaporada en los trópicos por la radiación solar es transportada por los vientos a regiones frías, donde se condensa, devolviendo al aire una inmensa cantidad de calor, contribuyendo de este modo a la suavización de la temperatura en toda la Tierra.

Véase **Calor, transmisión del; Caloría; Temperatura y escalas termométricas**





El gráfico de la página anterior ilustra el proceso de enfriamiento de un cuerpo. Su temperatura desciende progresivamente hasta el cambio de estado, en que se estaciona, para adecuar su estructura molecular. En la transición de líquido a sólido, un fenómeno de inercia se opone a la ordenación cristalina del nuevo estado. En la parte inferior del gráfico se presentan las estructuras moleculares para cada estado. En esta página (arriba), el calor suministrado a una barra de metal es cedido al agua, donde se pueden observar corrientes ascedentes provocadas por el violento suministro de calor. El calor se manifiesta también como radiación visible; tal es el caso de la rueda de fresa al calentarse (abajo).



Calor, transmisión del

Los mecanismos que hacen posible el intercambio de energía calorífica de un cuerpo caliente a otro frío tienen lugar de tres maneras muy diferentes entre sí: *conducción*, *convección* y *radiación*. Aunque para su estudio se consideran separadamente, no suelen darse de forma aislada, y frecuentemente uno de los procesos juega un papel preponderante sobre los demás. El calentamiento de una cucharilla metálica introducida en un líquido caliente, el movimiento del agua por las tuberías de la calefacción, o los rayos luminosos procedentes del Sol son ejemplos de las diferentes formas en que el calor puede propagarse.

Conducción térmica Es la forma más lenta de transmisión de calor, pero a su vez la más frecuente en la Naturaleza. Se realiza por una transferencia de energía cinética de las moléculas más calientes a sus adyacentes más frías, sin variar su posición dentro del cuerpo. En los metales los electrones libres participan junto con las moléculas en el proceso de propagación, lo que les convierte en los mejores conductores de calor. Pese a no producirse transporte de materia, es necesaria la presencia de un medio material que sirva de vehículo; su ausencia, es decir, el vacío, impide la conducción y actúa como aislante. Las vasos Dewar, normalmente conocidos como *termos*, son recipientes que, utilizando esa propiedad, aíslan térmicamente su contenido mediante una cámara de vacío.

Esta forma de propagación no es exclusiva de los sólidos, sino que se presenta también en líquidos y gases, aunque en estos casos el intercambio energético se dificulta, por ser mayores las distancias intermoleculares, y su capacidad de conducción es muy pequeña. La mala conductividad térmica del agua (200 veces menor que la del cobre) se pone de manifiesto aplicando la llama de un mechero de gas al cuello de una botella llena de agua en cuyo fondo mantenemos un pedazo de hielo. Antes de que el hielo comience a fundirse, veremos hervir el agua de la boca de la botella.

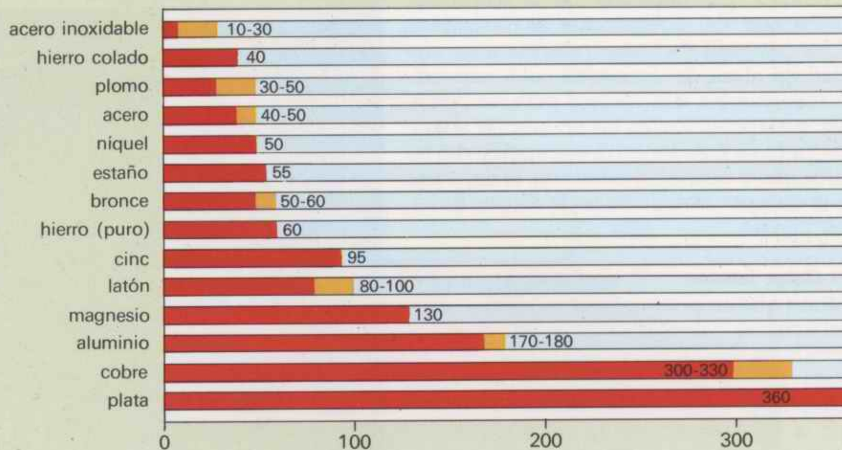
Convección En este proceso el calor se transmite asociado al propio desplazamiento de las partículas que se mueven por las corrientes que las diferencias de temperatura generan en su seno; la propia naturaleza de esta forma de propagación excluye a los sólidos, al ser incompatible el movimiento real de las moléculas con su estructura cristalina. Cuando se calienta un líquido o gas, las partículas más próximas a la fuente de calor experimentan una disminución de densidad a causa del aumento de temperatura, y se elevan, desplazando a las partículas que tiene encima, mientras otras más frías, y por lo tanto más densas, ocupan su lugar; comienza así un rápido mecanismo de mezcla, basado en múltiples células convectivas, que distribuyen el calor por todo el fluido. La baja conductividad de líquidos y gases queda normalmente enmascarada por esta forma de transporte, que suele ocurrir simultáneamente.

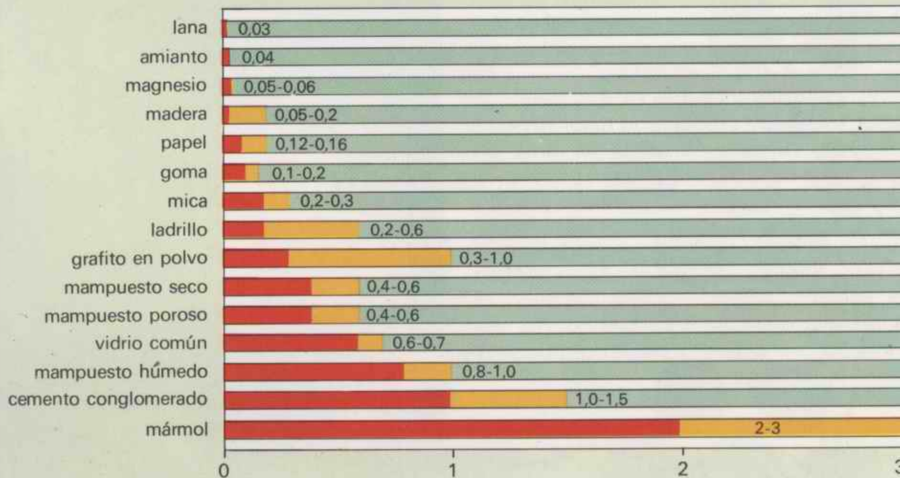
Los sistemas de calefacción de agua caliente son una aplicación práctica de las corrientes de convección en los líquidos, del mismo modo que el tiro de una chimenea lo es en los gases. En este caso, las fuertes corrientes ascendentes que hacen que el humo escape al exterior son debidas al calentamiento del aire por el calor generado en la combustión. En la Naturaleza, los intercambios de calor por convección son los responsables de la mayor parte de las corrientes marinas y vientos atmosféricos, que contribuyen decisivamente a configurar el clima de extensas regiones del planeta.

Radiación En contraposición con los anteriores mecanismos, para el intercambio de calor por radiación entre dos cuerpos no se requiere medio material, ya que la transmisión se realiza por ondas electromagnéticas de la misma naturaleza que la luz. A principios del presente siglo M. Plancit enunció matemáticamente una teoría según la cual todo cuerpo, sea cual fuere su temperatura, emite constantemente energía radiante, y a su vez recibe la procedente de todos los cuerpos de su alrededor, siendo mayor la cantidad de energía emitida cuanto mayor es su temperatura. En general, la radiación térmica posee longitudes de onda que pertenecen a la gama del infrarrojo, por lo que es invisible al ojo humano; únicamente cuando la temperatura del emisor es suficientemente elevada, se percibe la radiación en forma de luz (un objeto a 800 °C se muestra de color rojo).

La radiación electromagnética emitida por un cuerpo viaja en línea recta a través del vacío con la misma velocidad que la luz, y puede ser reflejada, transmitida o absorbida por la materia en cualquiera de sus estados, variando enormemente la transparencia de una sustancia respecto de otra. De la energía emitida por el Sol, la atmósfera absorbe o refleja al espacio una considerable proporción, pero es transparente en la región visible y en el infrarrojo o calorífico.

El cuerpo humano, en contacto con el aire, más frío, especialmente en invierno, cede constantemente calor por las tres formas de propagación descritas. Para evitar una pérdida excesiva, se usan pren-





das de lana y plumas, que forman en su interior pequeñas cámaras de aire; de este modo se dificulta la convección (la conducción del aire es despreciable), manteniendo el cuerpo humano dentro de unos límites de *confort*.

Véase **Calor; Caloría; Cuerpo negro; Energía**



Al poner en contacto dos cuerpos con diferente temperatura se establece un flujo de energía desde las moléculas del cuerpo caliente a las del cuerpo frío, que no cesa hasta haberse alcanzado el equilibrio térmico. El calor se propaga mediante tres formas diferentes: por conducción, por convección y por radiación. La transmisión por conducción se produce por un aumento de la oscilación molecular en la zona caliente del cuerpo, que se transmite por múltiples impactos, sin transporte de materia, a las zonas contiguas más frías. La convección, originada por las diferencias de temperatura entre las partes del líquido o gas, produce corrientes que mueven el fluido igualando la temperatura. Por último, la propagación del calor por radiación se refiere a la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas desde un cuerpo caliente y a su absorción por otro más frío, sin necesidad de un medio material de intercambio entre ambos. En la figura de arriba, el recipiente con agua ilustra los tres modos de propagación: la conducción a través de las paredes y el fondo, las corrientes convectivas de agua (flechas circulares), y la radiación de la llama y del propio recipiente en todas direcciones

La capacidad de un cuerpo para transmitir calor por conducción se llama *conductividad térmica*, y representa la cantidad de calor que atraviesa en la unidad de tiempo un espesor determinado del cuerpo, cuando se mantiene una diferencia constante de temperatura entre sus extremos. En las tablas de la página anterior se muestra la conductividad de diversas sustancias en kilocalorías por metro de espesor y hora, para una diferencia de temperatura de un grado centígrado. Esta magnitud es distinta para cada una de ellas, dependiendo de la intensidad de sus fuerzas de cohesión molecular. La elevada conductividad térmica de los metales contrasta con la de los sólidos no metálicos. Abajo, el calor generado en el interior del Sol se transmite por radiación hacia capas exteriores, donde es absorbido por el plasma. Este, sometido a movimientos convectivos, cede su calor al acercarse a la superficie, y se enfría, hundiéndose nuevamente.

Caloría

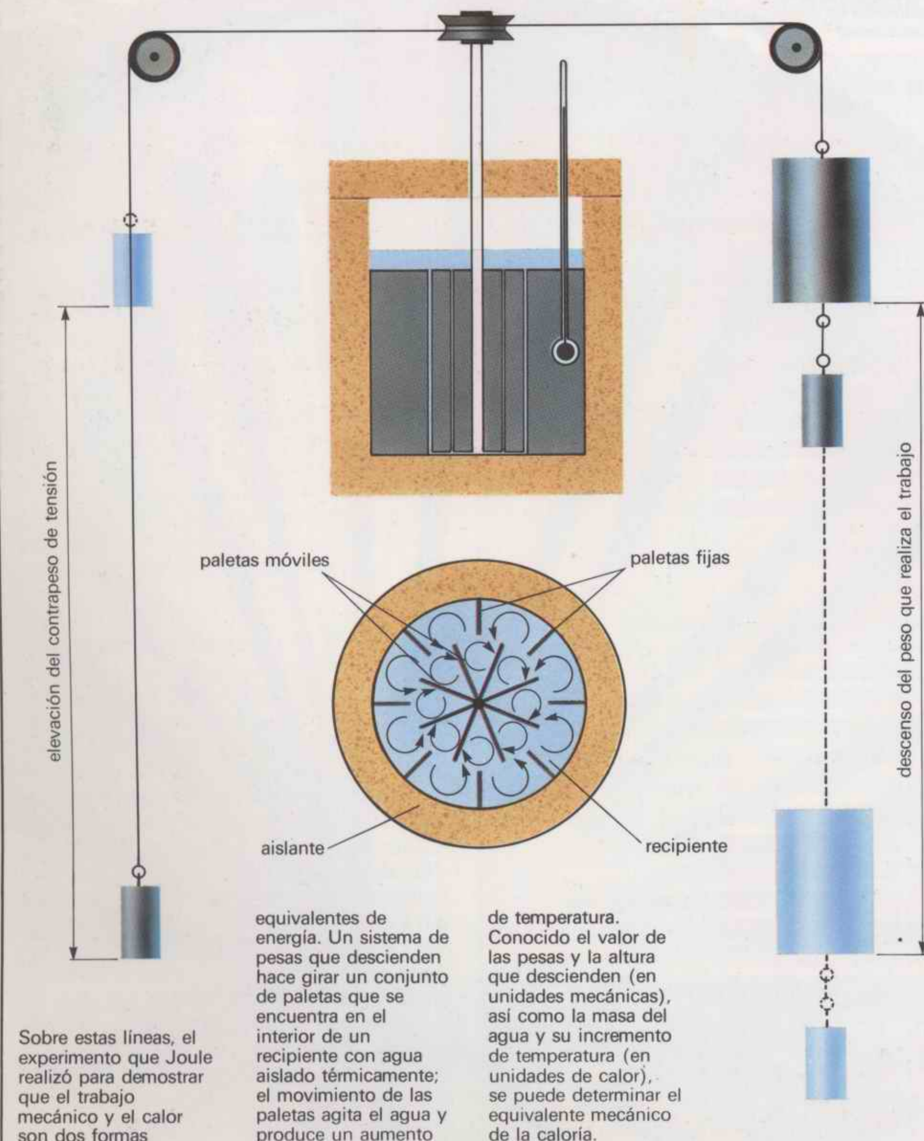
La caloría es, por excelencia, la unidad de medida del calor. Históricamente fue introducida en una estrecha relación con la teoría del calórico, y se define como la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de un gramo de agua; como el calor específico del agua varía con la temperatura, el incremento de un grado se normaliza entre 14,5 y 15,5 grados centígrados.

Con los experimentos realizados por Mayer y Joule en 1842 y 1843 respectivamente, el calor pierde su significado material y adquiere un sentido energético de agente capaz de originarse por un trabajo mecánico y a su vez capaz de producirlo; al ser el calor una forma de energía, se puede medir en las mismas unidades que ésta, es decir, en julios y ergios, de la misma forma que el trabajo puede medirse en unidades de calor aunque ciertos prejuicios restringen la utilización de la caloría a problemas térmicos.

La relación matemática entre la caloría y las unidades mecánicas de energía se determinó mediante un experimento realizado por Joule. La energía mecánica utilizada para calentar, mediante una fuerte agitación, una cantidad conocida de agua se puede medir con gran precisión, y si se reduce al mínimo la pérdida por radiación y rozamiento, esta energía será igual a la cantidad de calor que ha provocado el incremento de temperatura del agua; encontrándose que 1 caloría equivale a 4,18 julios y que 1 julio es 0,24 calorías.

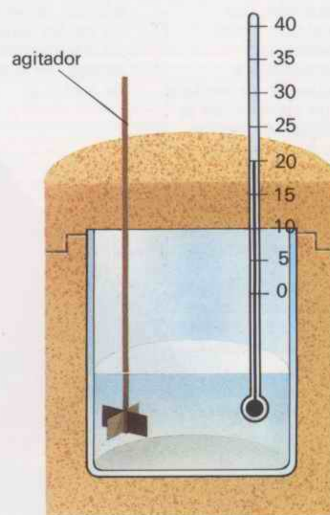
La conservación de la energía Los trabajos de Mayer y Joule no se limitaron a la determinación exacta del equivalente térmico del trabajo; pretendían una idea más ambiciosa: encontrar una medida común para la valoración de los efectos térmicos, químicos, eléctricos y mecánicos, y demostrar que en todos ellos la energía se conserva. Pero el mérito de la formulación del principio de la conservación de la energía se debe al físico alemán Helmholtz, quien estableció de forma definitiva que la suma de energías cinética y potencial de las partículas que constituyen un cuerpo o sistema no puede variar si no es sometido a una acción externa. La tesis de Helmholtz fue tan rápidamente aceptada por el mundo científico, que doce años más tarde, en 1860, era considerada como uno de los pilares básicos para el desarrollo de la ciencia.

El principio de conservación de la energía se expresa de muy diferentes maneras. Cuando sólo se considera el intercambio de calor y trabajo, se enuncia como el primer principio de la termodinámica, que relaciona la cantidad de calor que un cuerpo o sistema intercambia con el exterior con el trabajo mecánico desarrollado y con la variación de su energía interna. En la mayoría de los casos, esa energía juega un papel fundamental, y parte del calor cedido para producir un trabajo es almacenada en forma de energía interna. Igualmente, en muchos casos se produce trabajo mecánico sin consumo aparente de calor: tal es el caso del movimiento de un automóvil, donde la energía desarrollada procede del consumo de energía interna liberada en la combustión de la gasolina ante el oxígeno del aire.



Sobre estas líneas, el experimento que Joule realizó para demostrar que el trabajo mecánico y el calor son dos formas equivalentes de energía. Un sistema de pesas que descienden hace girar un conjunto de paletas que se encuentra en el interior de un recipiente con agua aislado térmicamente; el movimiento de las paletas agita el agua y produce un aumento de temperatura. Conocido el valor de las pesas y la altura que descienden (en unidades mecánicas), así como la masa del agua y su incremento de temperatura (en unidades de calor), se puede determinar el equivalente mecánico de la caloría.

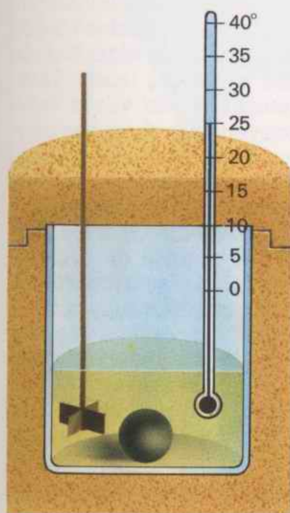
CALORIMETRO





La caloría en dietética Si se aplica el principio de conservación de la energía a los seres vivos, el mantenimiento de la vida necesita una producción continua de calor que depende del estado de actividad o reposo del individuo. Esa cantidad de energía que una persona necesita diariamente es suministrada por los procesos bioquímicos que tienen lugar en su organismo; y, en última instancia, se origina en la oxidación de los alimentos ingeridos, cuyo poder calorífico se calcula por métodos calorimétricos. La energía mínima indispensable para mantener la circulación de la sangre, la respiración y la temperatura corporal de una persona en un estado de reposo absoluto se conoce como *metabolismo basal*. En dietética, la unidad empleada es la caloría, equivalente a una kilocaloría o mil calorías de las empleadas en Física.

Véase **Alimentación y nutrición; Calor**



El calorímetro es un aparato especialmente diseñado para medir el calor específico de los cuerpos. La figura representa un calorímetro de agua, que consta de un recipiente térmicamente aislado en cuyo interior se encuentra un termómetro y un agitador cuya misión es forzar los procesos de mezcla. Inicialmente contiene una cierta cantidad de agua a 20 °C; al introducir en ella un objeto más caliente (60 °C), este cede calor al agua hasta alcanzar el equilibrio térmico (25 °C). Al no existir intercambios con el exterior, la energía calorífica cedida por el objeto debe ser igual a la absorbida por el agua. De las lecturas del termómetro, y conocidas las masas del agua y del objeto, se calcula fácilmente el calor específico del cuerpo. En la práctica se requieren diversas correlaciones que ponderan el calor absorbido por el termómetro, por el agitador y por el recipiente, así como el calor que, a pesar del aislante térmico, irradia el calorímetro.

CALORIAS CONSUMIDAS, ADEMAS DEL METABOLISMO BASAL, EN UN ADULTO DE 70 KG DURANTE DIFERENTES EJERCICIOS FISICOS

Actividad	kcal/hora
ciclismo (13 km/hora)	175
fregar platos	70
conducir el coche	63
comer	28
descansar en la cama, despierto	7
correr	490
nadar (3 km/hora)	553
escribir a máquina (eléctrica)	70
caminar (unos 5 km/hora)	140
andar (unos 5 km/hora)	238

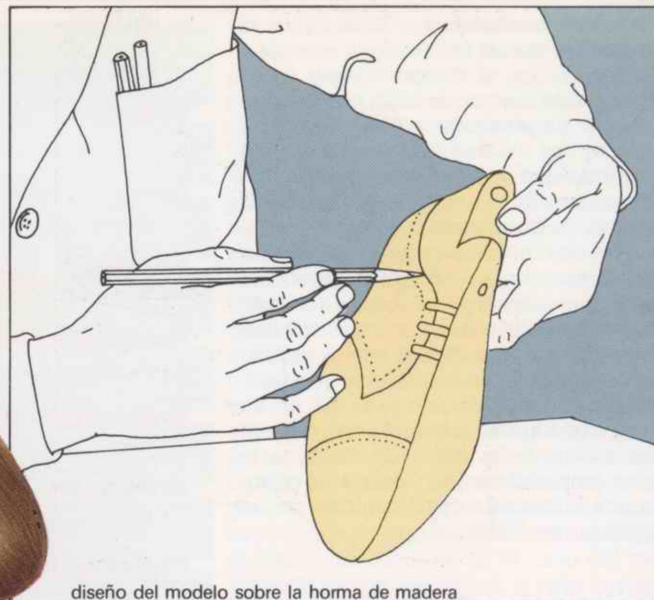
VALOR CALORICO Y CONTENIDO EN PROTEINAS, LIPIDOS Y GLUCIDOS DE LOS PRINCIPALES ALIMENTOS

Alimento	Cantidad	Proteínas (g)	Lípidos (g)	Glúcidos (g)	Calorías (kcal)
leche descremada	1 taza	8	0	12	80
leche parcialmente descremada (2 % de grasa)	1 taza	8	5	12	120
leche entera	1 taza	8	10	12	160
vegetales	1/2 taza	2	0	5	25
frutos cítricos	100 g	0	0	10	40
pan	25 g	2	0	15	70
carne magra	30 g	7	3	0	55
carne de contenido graso medio	30 g	7	6	0	80
carne de alto contenido graso	30 g	7	8	0	100
grasas polisaturadas y grasas saturadas	5 g	0	5	0	45

Calzado, industria del



horma


diseño del modelo sobre la horma de madera

La tecnología utilizada en la fabricación del calzado ha evolucionado en el curso de la Historia, partiendo de los primeros mocasines, cosidos a mano, hasta llegar al moderno calzado deportivo. Los calzados más antiguos fueron probablemente los mocasines y las sandalias, sujetos al pie mediante correas de cuero.

Primeros tipos de calzado Ya en las antiguas civilizaciones se fabricaban muchos modelos de calzado y los artesanos desarrollaron una gran habilidad en la confección de zapatos a la medida. El inconveniente era que todo el trabajo había que efectuarlo a mano —no disponían de la automatización, proporcionada por la tecnología moderna— y el calzado así producido se encarecía bastante. Los antiguos egipcios, alrededor del año 2000 a. de C., usaban sandalias confeccionadas con papiro, mientras que en Europa, China y Japón estaba bastante extendido el calzado de madera. Hasta la Edad Media los mocasines, las sandalias y las botas se fabricaban con cuero sin curtir, que posteriormente se sustituyó por cuero curtido, y por lo tanto más fino, introducido en España por los árabes. Hasta el siglo XIX, la fabricación del calzado continuó siendo una actividad manual desarrollada por artesanos.

Los modernos métodos de fabricación En 1819 se inventaron las primeras hormas de madera para calzado, sobre las que era posible conformar los zapatos derecho e izquierdo. Hacia finales de siglo, la invención de la máquina de coser revolucionó la producción de calzado.

Hoy en día, cada fase de la fabricación la realiza una máquina distinta y, en algunos casos, es necesario un gran número de operaciones para producir un solo par de zapatos.

En la fábrica de calzado, cada par de zapatos se somete a distintas operaciones sucesivas: diseño de los patrones sobre la piel, cortado, cosido (durante el cual se cose la pala), preparación de la base de sujeción (la suela), ahormado (montaje del zapato en la horma), ensuelado (unión de la suela a la pala), colocación de los tacones, acabado final (abrillantado, impresión de la marca), moldeado (colocación de hebillas y de otros elementos decorativos), lustrado y control.

Si se confeccionan los zapatos según el método Goodyear con "refuerzo", el cuero que se usa para las palas se corta en varias partes. Los revestimientos internos se cortan con prensas hidráulicas, excepto en el calzado de lujo, en el que esta operación se realiza manualmente. En la sección correspondiente, se unen y cosen las palas, se hacen los adornos, así como los agujeros en el cuero y en la suela si el modelo lo requiere, con lo que la pala ya queda dispuesta para unirla al resto del zapato.

De todas formas, antes de realizar todo eso se tiene que adaptar la plantilla al modelo y al tamaño de la horma, sobre la que posteriormente se dispondrá la pala y los laterales; la puntera y el talón se moldean para que tomen su forma definitiva. Seguidamente las piezas se cosen entre sí utilizando una máquina de coser provista de una aguja curvada.

Finalmente, se fija la suela y se clava el tacón a su base, con lo que el zapato está ya preparado para teñirlo, darle los toques finales y abrillantarlo.

En los modernos métodos de fabricación las piezas ya no se cosen, sino que se unen mediante un adhesivo cuya duración es similar a la del cuero; a excepción de la pala y la suela, que se cosen. Con estas técnicas se gana en rapidez, se ahorran costes y se prolonga la vida del calzado.

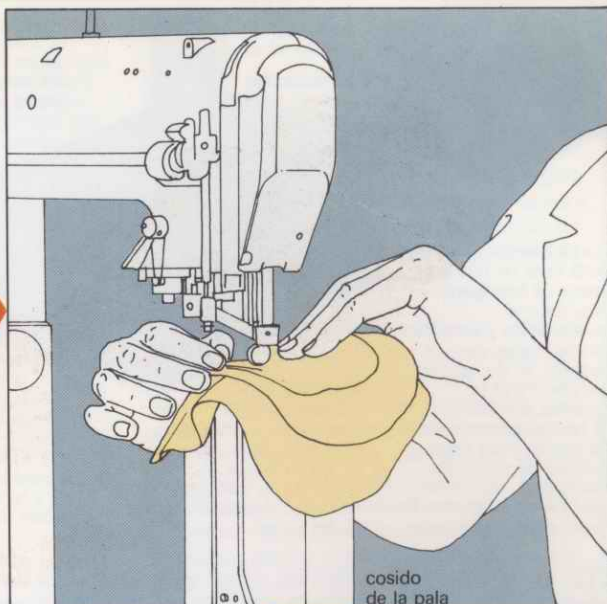
Materiales El calzado más fino es el que se elabora con piel de becerro. También está bastante extendida la utilización de piel de cabritillo y de reptiles (cocodrilo y serpiente), aunque de todas formas la piel de bovino es la más usada. También se utiliza mucho la piel vuelta, aunque tiene el inconveniente de que es muy delicada. Esta puede obtenerse aterciopelando la superficie interna de la piel de becerro, de cabritillo o de la de bovino, hasta obtener una especie de felpa. Los zapatos pueden ser también de cáñamo, paja, nailon o terciopelo; actualmente se utilizan materiales sintéticos muy similares a la piel natural, que están compuestos por una base de tela recubierta por una sustancia química de acabado.

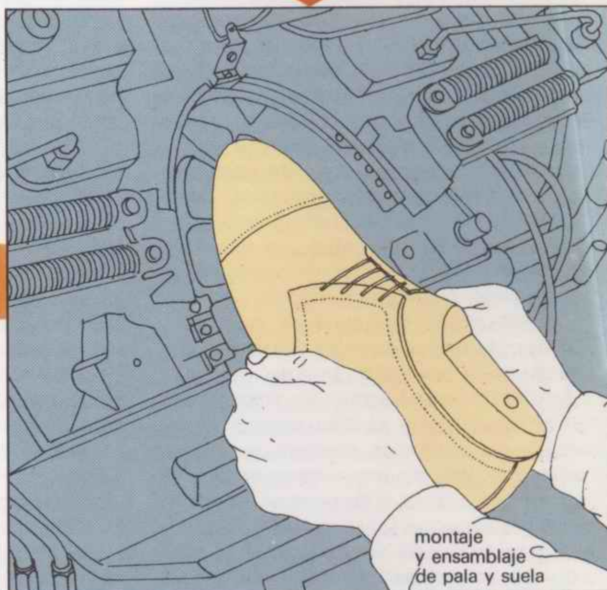
El cuero artificial, elaborado con un material similar al plástico, se utiliza para los calzados más económicos. A veces, los materiales plásticos o de goma se moldean, de forma que se obtiene un único bloque suela-tacón.

Calzado deportivo En cambio, la famosa zapatilla de *jogging* (para correr), con suela de plástico, se confecciona siguiendo un proceso totalmente diferente. La pala, que puede ser de tela, piel vuelta o cuero, se une a la plantilla con un adhesivo (en este caso la plantilla se raspa previamente, para obtener así una mejor adherencia de la cola), con tachuelas o con clavos. La pala, ya encolada a la plantilla, se coloca en una matriz de inyección. El molde se cierra, y entre él y la plantilla se inyecta un producto sintético fundido que, al solidificar, forma la suela de plástico sobre la que apoyará el pie.

Véase **Cuero y curtidos**


cortado a mano de la pala


cosido de la pala

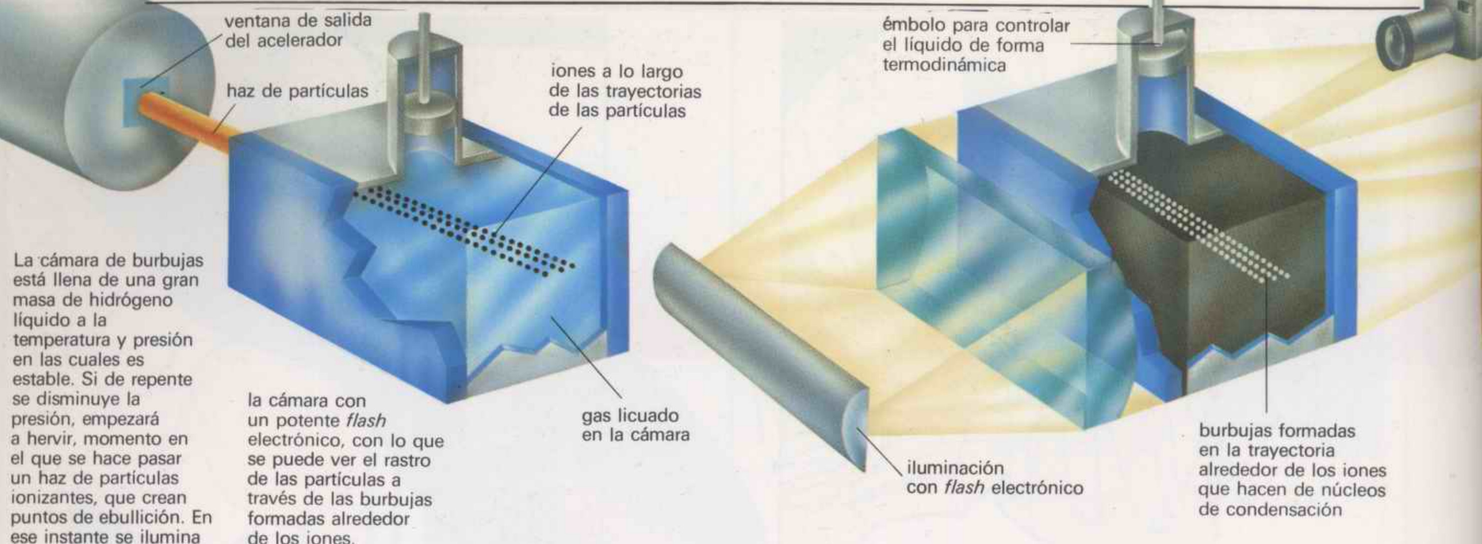

montaje y ensamblaje de pala y suela


acabado (lustrado y teñido)


Fábrica de calzado de Varese

En los dibujos de estas páginas se ilustran, en varias secuencias, algunas fases de la fabricación del calzado. También en la producción industrial algunas operaciones se llevan a cabo siguiendo métodos artesanales. El punto de partida es la horma, cuya forma está determinada por la moda imperante. Con referencia a esta horma se diseñan los patrones de papel que servirán para efectuar el cortado de la piel. En la tercera imagen se ve cómo se efectúa el cortado. El patrón de papel se distribuye sobre la piel, de forma que se pueda obtener el mayor número posible de piezas. En las grandes industrias, este trabajo lo realiza una computadora. Seguidamente se pasa al cosido de las palas, que es un proceso muy complicado porque, como se puede ver en la ilustración, se tienen que unir tanto la parte externa como los forros. Después del cosido, y antes de pasar a la fase siguiente, que es la unión con la suela, se llevan a cabo muchas operaciones de control y la eventual corrección de los posibles fallos detectados. Mientras que para coser la pala se emplea una máquina de alta velocidad, para coser la suela se utiliza una más lenta. Finalmente se procede al último retoque, que sirve para obtener un producto perfecto; después los zapatos se emparejan y se embalan. En la fotografía, una línea de producción realizada con este proceso artesanal en una gran fábrica de calzado. Los zapatos de calidad media, y en particular los deportivos y los elaborados con matériales distintos de la piel, se producen con máquinas prácticamente automáticas.

Cámara de burbujas



La cámara de burbujas está llena de una gran masa de hidrógeno líquido a la temperatura y presión en las cuales es estable. Si de repente se disminuye la presión, empezará a hervir, momento en el que se hace pasar un haz de partículas ionizantes, que crean puntos de ebullición. En ese instante se ilumina

El acelerador de partículas, igual que el telescopio o el microscopio, ha sido un invento que ha abierto un nuevo campo a la investigación científica. Se trata del mundo de la física de partículas, el universo interior del átomo. Hace cincuenta años se pensaba que este mundo sería más bien simple, constituido por sólo tres tipos de partículas: protones, electrones y neutrones. Después se construyeron los aceleradores, aparatos diseñados para lanzar protones a altas velocidades contra el núcleo de un átomo a fin de romperlo y poder estudiar sus fragmentos. Estos fragmentos han revelado un nuevo mundo, formado por partículas con nombres como *quark* y *gluon*, cuyo comportamiento complejo ha sido clasificado por los científicos según una serie de propiedades denominadas con los términos de: "extrañeza", "encanto" y "belleza".

A diferencia de los mundos explorados con el telescopio y el microscopio, el de la física de partículas elementales no se puede ver, ya que los componentes del átomo tienen unas dimensiones bastante más reducidas que la longitud de onda de la luz y no se puede ver nada que sea más pequeño que esta longitud de onda. Jamás se podrá construir un microscopio, por muy potente que sea, capaz de presentarnos visualmente una partícula nuclear. Este mundo habría quedado excluido para siempre de nuestro conocimiento si no fuera por la existencia de aparatos capaces de darnos pistas, como la *cámara de burbujas*. Este instrumento, y otros análogos utilizados para revelar misterios de la física nuclear, nos permiten "ver" indirectamente cómo son las partículas nucleares. En realidad, estos aparatos hacen que las partículas dejen trazas visibles, gracias a las cuales podemos entender su comportamiento, de la misma forma que un cazador entiende el comportamiento de un animal —que todavía no ha visto— a través de sus huellas. Un acelerador dispara las partículas hacia el interior de una cámara de burbujas para provocar la colisión de las partículas con los átomos. Las partículas, viajando a una velocidad próxima a la de la luz, dejan una traza de burbujitas durante su desplazamiento por el líquido que llena la cámara.

Principios de funcionamiento de la cámara de burbujas Cuando se calienta un líquido hasta la temperatura de ebullición, empiezan a salir a su superficie burbujas de vapor, cuyo número va aumentando hasta que se ha evaporado todo el líquido. El punto de ebullición de un determinado líquido depende de la presión a la que esté sometido. Por ejemplo, al nivel del mar el agua hierve a 100 ºC, mientras que en la cima del Aneto, a 3.404 metros de altitud sobre el nivel del mar, la presión atmosférica es más baja y el agua hierve a 88 ºC aproximadamente.

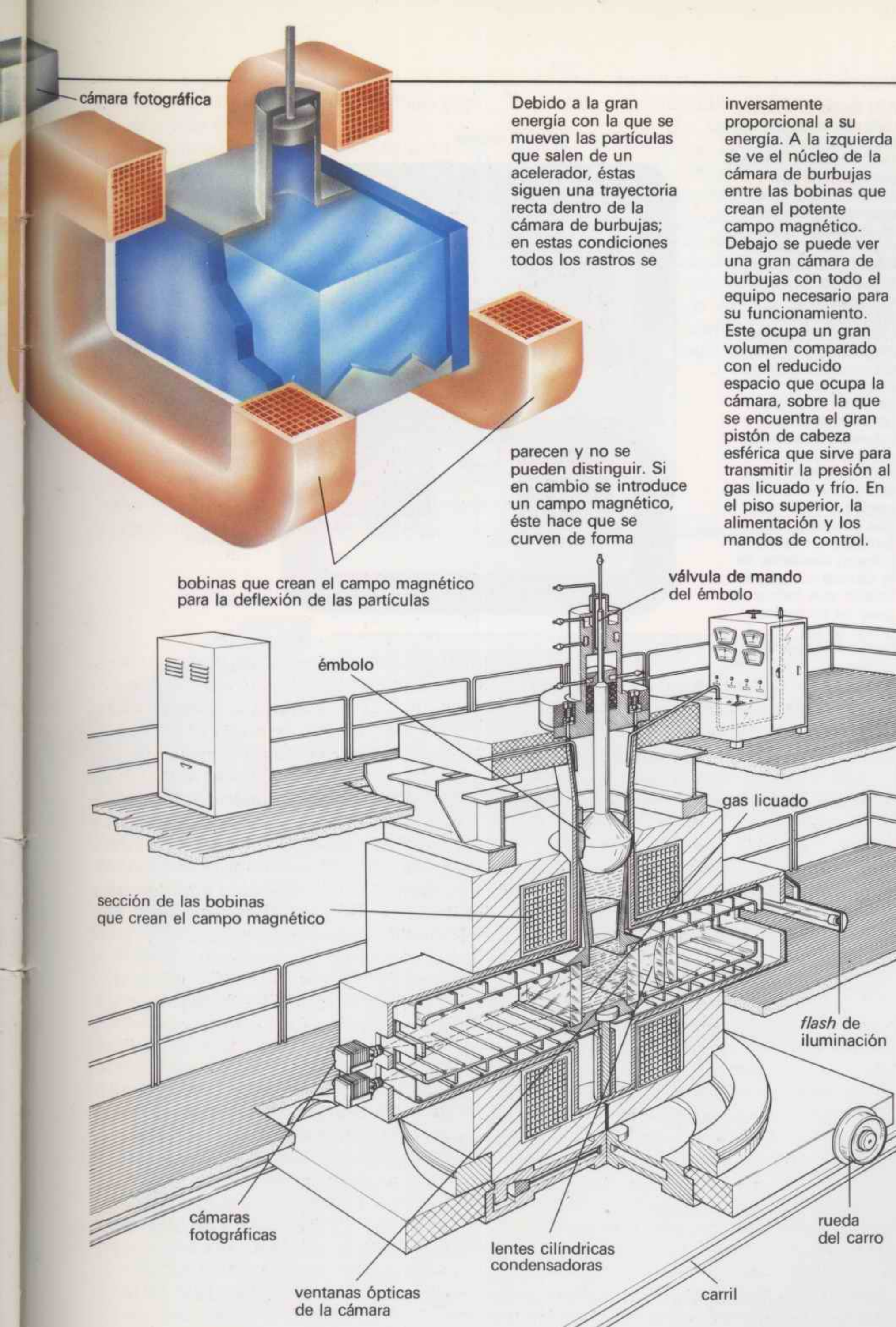
En una cámara de burbujas se pone un líquido, como el hidrógeno licuado, en un recipiente (cuyo tamaño máximo es de cuatro metros de diámetro) donde se somete a altas presiones y se enfría de forma que su temperatura se mantenga ligeramente por debajo del punto de ebullición. El recipiente tiene ventanas para las máquinas fotográficas y lámparas que iluminan las líneas de burbujas. La presión de la cámara se baja bruscamente, por lo que el líquido pasa al estado de *sobrecalentamiento*, en el que su temperatura está por encima del punto de ebullición para la presión que tiene en ese momento, pero todavía no ha empezado a hervir. El más pequeño aumento de calor o de energía será suficiente para iniciar la formación de burbujas de vapor.

Un acelerador, como se ha explicado antes, dispara haces de partículas hacia el hidrógeno líquido. Los átomos que componen el hidrógeno están formados en una gran parte por vacío, por lo que las partículas pueden viajar entre ellos como lo harían entre la red de una raqueta de tenis. Sin embargo, las partículas cargadas tienen a su alrededor campos eléctricos, entendiéndose por campo el espacio en el que se ejerce una fuerza. Un electrón, por ejemplo, crea un campo eléctrico que rechaza otras cargas negativas y atrae la positiva. La carga positiva de un protón hace que éste se comporte de manera opuesta, atrayendo las cargas negativas y rechazando las positivas. Aunque una partícula cargada en movimiento no chocase nunca con un protón o con un electrón de los átomos de hidrógeno, les afectaría notablemente a causa de su campo eléctrico, atrayendo o rechazando a estas partículas y haciendo que se muevan con más energía que antes.

Normalmente un átomo es eléctricamente neutro, puesto que está formado por un número de protones y de electrones equilibrado respecto al número de cargas positivas y negativas. Sin embargo, la partícula cargada en movimiento separa los electrones —relativamente ligeros— de sus órbitas, convirtiéndolos en partículas cargadas libres e ionizando los átomos. Estos electrones tienen una energía notable, pero, debido a que son mucho más ligeros que los pesados protones, la pierden rápidamente, de la misma forma que una pelota de ping-pong perdería su energía enseguida si se encontrara con unas cuantas bolas de billar. Cuando una partícula pierde energía de esta manera, calienta el líquido que la rodea, produciendo un exceso de calor que hace que el líquido empiece a hervir.

Si una partícula choca con un núcleo de hidrógeno y lo rompe, los fragmentos producidos por la colisión se difunden por el líquido dejando rastros de burbujas similares a los rastros de vapor que deja el paso de un avión en el cielo. Solamente partículas cargadas pueden dejar rastros de este tipo. Una fotografía típica de este fenómeno presenta una trama formada por numerosos rastros que se curvan, chocan, se dividen y desaparecen.

Casi siempre se introduce un campo magnético en la cámara para ayudar a la identificación de las partículas. El campo magnético ejerce una fuerza sobre la partícula cargada que se mueve en su interior, haciendo que las partículas con carga positiva tomen una determinada dirección, y las de carga negativa, la contraria. Además, la mayor o menor curvatura de la trayectoria depende de la masa que



Debido a la gran energía con la que se mueven las partículas que salen de un acelerador, éstas siguen una trayectoria recta dentro de la cámara de burbujas; en estas condiciones todos los rastros se parecen y no se pueden distinguir. Si en cambio se introduce un campo magnético, éste hace que se curven de forma inversamente proporcional a su energía. A la izquierda se ve el núcleo de la cámara de burbujas entre las bobinas que crean el potente campo magnético. Debajo se puede ver una gran cámara de burbujas con todo el equipo necesario para su funcionamiento. Este ocupa un gran volumen comparado con el reducido espacio que ocupa la cámara, sobre la que se encuentra el gran pistón de cabeza esférica que sirve para transmitir la presión al gas licuado y frío. En el piso superior, la alimentación y los mandos de control.

tenga la partícula y de la intensidad del campo magnético.

Como en el caso de los animales, los distintos tipos de partículas dejan rastros diferentes. La "huella" característica de una traza se llama *configuración propia*. Cuando los electrones son empujados por partículas más pesadas, dejan un rastro que se desvanece y ondula; mientras que las pesadas partículas alfa, formadas por dos protones y dos neutrones, tienen una configuración propia densa y derecha. Algunas veces las partículas alfa adquieren en su trayectoria dos electrones, convirtiéndose en un átomo de helio, por lo que a partir de ese momento desaparece su rastro. Una partícula eléctricamente neutra, el mesón K°, puede desintegrarse en dos partículas cargadas o iones de signo opuesto: en la imagen fotográfica aparecen entonces dos rastros que salen desde el mismo punto y siguen después direcciones diferentes.

La velocidad de una partícula se puede calcular a partir de la curva que describe en el campo magnético, conociendo su masa, la amplitud de la curva y el valor del campo magnético.

Un experimento típico consiste en enviar centenares de partículas por segundo a través del hidrógeno líquido y disparar miles de fotografías al mismo tiempo. Si se está buscando un tipo de colisión en particular, se tiene que observar cada una de las imágenes individualmente, lo que requiere el trabajo de varios meses por parte de un grupo de físicos bien preparados. Para registrar la entrada y salida de partículas se utiliza un aparato de medida —*trigger*— que se sitúa delante y detrás de la cámara de burbujas, lo que permite evaluar la posibilidad de que ocurra un cierto tipo de colisión y disparar las cámaras fotográficas para que recojan el momento en que ocurre.

Tipos de identificadores La cámara de burbujas es uno de los numerosos instrumentos de identificación de partículas que se basan en el hecho de que las partículas cargadas en movimiento dejan un rastro de burbujas. La *cámara de niebla*, desarrollada entre 1896 y 1912 por el físico escocés C.T.R. Wilson, fue el primer instrumento capaz de hacer visibles los movimientos de las partículas. El medio utilizado no es un líquido, sino un gas, y el principio en el que se basa es la tendencia a la condensación del vapor alrededor de los iones. En una cámara de niebla, la presión se baja de repente, enfriando el gas. Si en ese momento una partícula atraviesa la cámara, dejando detrás de ella una estela de iones, un rastro de gotitas indicará la trayectoria. Sin embargo, las cámaras de niebla son menos sensibles que las de burbujas y a menudo las partículas viajan a velocidades demasiado altas para ser identificadas. La cámara de burbujas fue inventada en 1953 por el físico norteamericano Donald E. Glaser, que buscaba un medio más denso para frenar las partículas.

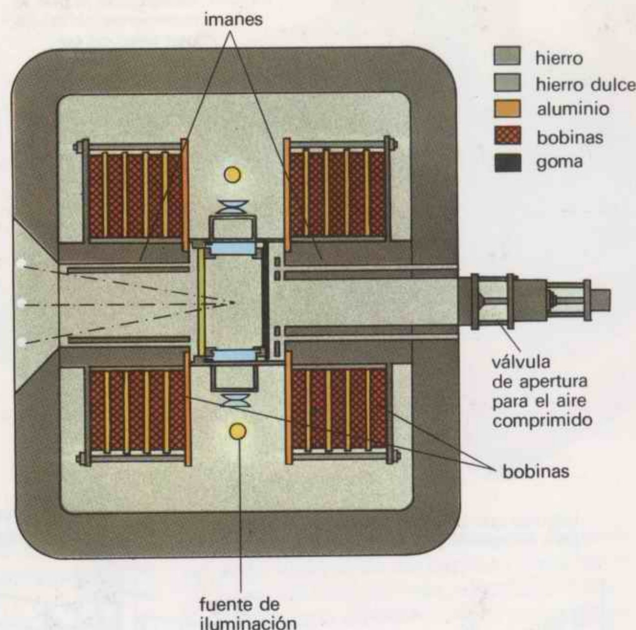
La *cámara de chispas*, introducida recientemente, es todavía más sensible y versátil que la cámara de burbujas. Se basa también en la tendencia a producir iones característica de las partículas cargadas en movimiento. En una cámara llena de gas se colocan numerosas rejillas finas, una al lado de la otra. Las rejillas pares se ponen a un potencial positivo y las impares a un potencial negativo, con una diferencia de potencial entre ellas ligeramente inferior al valor necesario para que salten chispas de unas a otras. Cuando una partícula cargada atraviesa la cámara, el rastro de iones que deja detrás de ella basta para que entre las rejillas salten chispas que sigan la trayectoria de las partículas lanzadas. La cámara de chispas tiene varias ventajas sobre la de burbujas: la principal es que su construcción es más fácil y más económica que la de los grandes recipientes de hidrógeno líquido, que pueden pesar varios cientos de toneladas y tienen un coste elevado. Además se pueden construir de forma que se registre el punto exacto de las rejillas donde se produce la chispa y se transmita esta información a un ordenador que la almacene en un banco de datos. Se puede programar el ordenador para que reconozca ciertos tipos de colisión según un procedimiento de análisis de los resultados.

Véase **Acelerador de partículas; Acelerador lineal; Betatrón; Cámara de niebla**

Cámara de niebla

El acelerador de partículas es uno de los instrumentos con los que cuentan los científicos para estudiar el átomo. En este aparato se aceleran partículas de materia con carga eléctrica, como protones y electrones, para conseguir altas velocidades que permiten el choque de las partículas con núcleos de átomos. En estas colisiones suceden hechos fuera de lo común, como son que la materia se transforme en energía, la energía en materia y partículas de diferente naturaleza se transformen unas en otras. Sin embargo, estas extrañas y fascinantes transformaciones pasarían inadvertidas si los científicos no tuvieran alguna manera de hacer visibles y registrar las trayectorias de estas partículas minúsculas. La cámara de niebla, inventada y desarrollada entre 1896 y 1912 por el físico escocés C.T.R. Wilson, ha sido uno de los primeros instrumentos que han podido utilizar los científicos para observar los efectos de las colisiones atómicas.

A la derecha, sección, vista desde arriba, de la cámara de Wilson (en el centro), rodeada por dos bobinas circulares que crean un campo magnético en la cámara. Cuanto mayor sea el campo magnético, menor será el radio de la curva descrita por la partícula. Con el calibrado del campo magnético y conociendo la carga eléctrica de la partícula se pueden obtener distintos valores del radio de curvatura y, en definitiva, calcular la energía que tiene la partícula. Para hacer que el sistema no funcione en vacío, se colocan alrededor de la cámara contadores Geiger, que indican el paso de partículas a través de las radiaciones creadas.



En realidad, la cámara de niebla no permite ver propiamente las partículas, sino que hace que éstas dejen huellas visibles. Cuando las partículas aceleradas atraviesan la cámara, se produce una condensación de gotitas de líquido minúsculas, pero visibles, a lo largo del lugar por el que han pasado las partículas, revelando así su trayectoria. Estos rastros se fotografían para poder estudiarlos posteriormente.

La cámara de niebla trabaja en base a dos principios fundamentales: primero, las partículas moviéndose a gran velocidad producen la *ionización de los átomos*, y segundo, las gotitas, por ejemplo de agua, tienden a condensarse alrededor de los iones producidos.

Ionización Todas las partículas que tienen carga eléctrica crean a su alrededor un campo eléctrico, entendiendo por campo una zona del espacio en la que se aprecia la acción de una fuerza. Por ejemplo, un electrón, que tiene carga negativa, crea un campo que rechaza a las otras partículas de carga negativa y atrae a las de carga positiva, mientras que la carga positiva de un protón hace que éste se comporte de forma opuesta, atrayendo las cargas negativas y repeliendo las positivas.

Un átomo en estado normal tiene un número igual de cargas positivas y negativas. Cuando una partícula cargada acelerada pasa cerca de un átomo, hace que salten uno o más electrones.

Cuando un átomo pierde de esta forma algún electrón, se rompe el equilibrio entre sus cargas, con lo que pasa a tener carga positiva y recibe el nombre de *ión*. Una partícula cargada lanzada a gran velocidad deja detrás de ella una estela de iones positivos y negativos. Estos iones pueden ser los centros de condensación de vapor, por lo que se forma un hilo de gotitas de agua a lo largo de la trayectoria de la partícula.

Condensación El aire tiene siempre una determinada cantidad de vapor de agua. La proporción de vapor que puede admitir el aire depende de la temperatura a la que esté: cuanto más baja sea la temperatura, menor será la proporción de vapor.

En la atmósfera, por ejemplo, se produce muy a menudo el enfriamiento de una masa de aire hasta una temperatura a la que ésta no puede seguir manteniendo la misma cantidad de vapor de agua. Esta temperatura recibe el nombre de *punto de rocío*. Cuando se alcanza el punto de rocío, el vapor de agua empieza a condensarse, formando gotitas de agua que se perciben en forma de niebla.

No siempre que se alcanza el punto de rocío hay condensación; ésta se produce solamente si existen gotitas de agua ya formadas u otras partículas que actúan como *núcleos de condensación*. En el aire siempre existen gotas de agua microscópicas, pero normalmente son demasiado pequeñas para que se produzca la condensación, que solamente se origina cuando estas gotitas alcanzan una dimensión crítica. Si se disminuye la temperatura de una masa de aire por debajo del punto de rocío, la existencia de núcleos de condensación de las dimensiones necesarias es suficiente para que comience la condensación.

La cámara de niebla aprovecha el hecho de que las gotitas que tienen iones pueden alcanzar una superficie mayor que las que no tienen carga. Cuando en la estela de una partícula cargada se produce un ion, el campo eléctrico debido a la carga creada se opone a las fuerzas de tensión superficiales que intentan vaporizar la gotita, favoreciendo así la condensación. Además, una partícula cargada atrae moléculas de agua o de alcohol debido a que en éstas existe un desequilibrio entre las cargas positivas y negativas.

Funcionamiento de la cámara de niebla La mayor parte de las cámaras de niebla utiliza una mezcla de vapores de agua, de alcohol, de aire y de gases para aumentar su sensibilidad. Gases y líquidos se sitúan en una cámara dotada de ventanas para colocar máquinas fotográficas y el sistema de iluminación que hace que las gotitas sean visibles. La temperatura del gas se baja hasta un valor inferior al punto de rocío, de forma que los átomos ionizados por las colisiones con las partículas aceleradas comiencen el proceso de condensación. Si se controla con precisión la temperatura del gas que está en la cámara, el vapor se condensa solamente en los iones de la trayectoria de la partícula. El fenómeno es muy similar a los rastros de vapor que se forman en la estela de los aviones a reacción.

Los distintos tipos de partículas tienen trayectorias y características diferentes, dependiendo de su carga eléctrica, su masa y su velocidad. En consecuencia, las partículas se pueden identificar en las fotografías por el tipo de trayectoria que han seguido. Si la cámara de niebla está situada en un campo magnético, la trayectoria es curva, lo que facilita la identificación de la partícula debido a que el radio de curvatura depende de las características de la partícula.

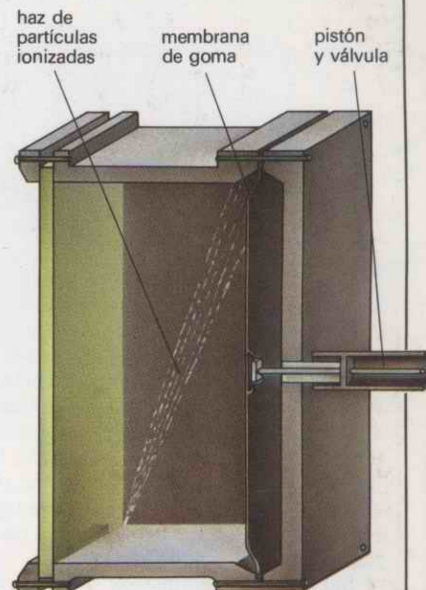
Tipos de cámara de niebla Existen dos tipos de cámara de niebla, cuyas diferencias son debidas a la forma en la que se enfría el gas. La *cámara de expansión* se basa en el principio de enfriamiento de los gases cuando se expanden rápidamente. Este tipo de cámara tiene la desventaja de que, poco después de la expansión, se condensa todo el vapor y para volver a llevar la cámara a las condiciones iniciales se necesitan por lo menos

10 segundos, durante los cuales no se puede utilizar la cámara.

La *cámara de difusión* es un tipo de cámara de niebla en la que el vapor se está produciendo continuamente en la parte inferior. Esta zona de la cámara se mantiene fría, por debajo del punto de rocío, de forma que en ella se produce la condensación del vapor. Así se consigue que exista en el centro de la cámara una zona de unos 8 centímetros de espesor que permanece sensible a la ionización producida por las partículas aceleradas.

Aparte del largo tiempo de repetición (lapso necesario para que la cámara vuelva a estar en condiciones de registrar los rastros de trayectorias), otro inconveniente, común a todos los tipos de cámara, es que la baja densidad de los gases utilizados reduce el número de interacciones entre las partículas aceleradas y los átomos, y resta por tanto sensibilidad al aparato. Para superar este inconveniente se han construido cámaras de niebla de alta presión, pero en ellas el tiempo de repetición es muy largo. En los años cincuenta la cámara de niebla ha sido sustituida por la *cámara de burbujas*, que es más sensible, aunque los progresos recientes en el campo de los aparatos de identificación de partículas electrónicas han dejado anticuado también este instrumento.

Véase **Cámara de burbujas; Radiación**



Sobre estas líneas está ilustrado el principio de funcionamiento de la cámara de niebla: se introduce un gas y se deja que se expanda con un sistema formado por un pistón y una válvula, de forma que se produzca una expansión adiabática y el enfriamiento del gas. El vapor que se forma está sobresaturado y se condensa alrededor de las partículas ionizadas que circulan por la cámara. A la izquierda se pueden ver los detalles de una cámara de Wilson seccionada. El cuerpo tiene a la izquierda una pared transparente de cristal, y a la derecha, el sistema válvula-pistón que permite la expansión del gas. Las paredes laterales son también transparentes para poder iluminar y registrar el suceso. En la cámara se pueden ver numerosos tabiques de plomo o carbón: al interaccionar con ellos, las partículas ionizadas chocan con las partículas que los forman, produciendo reacciones nucleares que también se pueden registrar en una placa fotográfica. La membrana del pistón está hecha de goma para permitir una expansión muy rápida del gas y una compresión igualmente brusca. El gas se produce por evaporación de una mezcla de agua y alcohol etílico.

Cámara fotográfica

En las décadas centrales del siglo XIX, cuando todavía la fotografía era considerada por muchos como una forma de magia, la cámara fotográfica, instrumento capaz de captar la luz procedente de los objetos y hacerla llegar hasta una emulsión sensible, era poco más que una simple caja con un orificio donde iba colocada una lente.

En su primera época, las cámaras fotográficas estaban construidas en maderas preciosas y latón, y aunque en su mayor parte podían plegarse en forma de maletín, las cámaras de este tipo eran voluminosas y pesadas. A esos inconvenientes se añadían las dificultades para el tratamiento de la imagen una vez impresionada. Grandes negativos con soporte de cristal debían ser sometidos, inmediatamente después de la toma, a complicadas manipulaciones con líquidos cáusticos en completa oscuridad. Por esa razón los fotógrafos necesitaban disponer de un voluminoso equipo que debían transportar en sus desplazamientos a lomos de mula o en carros.

Sucesivas mejoras en los productos químicos utilizados para el revelado fueron reduciendo el equipo necesario, pero todavía a finales del siglo XIX la fotografía seguía estando limitada, por su coste y dificultad, casi exclusivamente a profesionales o a auténticamente apasionados por este nuevo arte. El comienzo de su extraordinaria difusión puede situarse en 1900, año en que el norteamericano George Eastman comercializó una pequeña cámara, que llamó *Kodak Brownie*, a precios sensiblemente inferiores a los existentes hasta entonces y con dos mejoras fundamentales que se han mantenido hasta nuestros días: la película flexible de celuloide y su revelado por el propio fabricante.

Partes de una cámara fotográfica Una cámara fotográfica consta de los siguientes elementos esenciales:

Objetivo, que recoge la luz reflejada por los objetos y la hace converger de nuevo formando una imagen.

Cuerpo, que es básicamente una cámara oscura construida de forma que pueda colocarse la película exactamente en el plano donde se forma la imagen (plano focal). En el cuerpo, se encuentra el mecanismo de arrastre de la película.

Visor, que permite al fotógrafo encuadrar la imagen.

Obturador, dispositivo mediante el cual puede controlarse el tiempo que la película está recibiendo luz. En el objetivo suele encontrarse el *diafragma* para regular la cantidad de luz que alcanza la película.

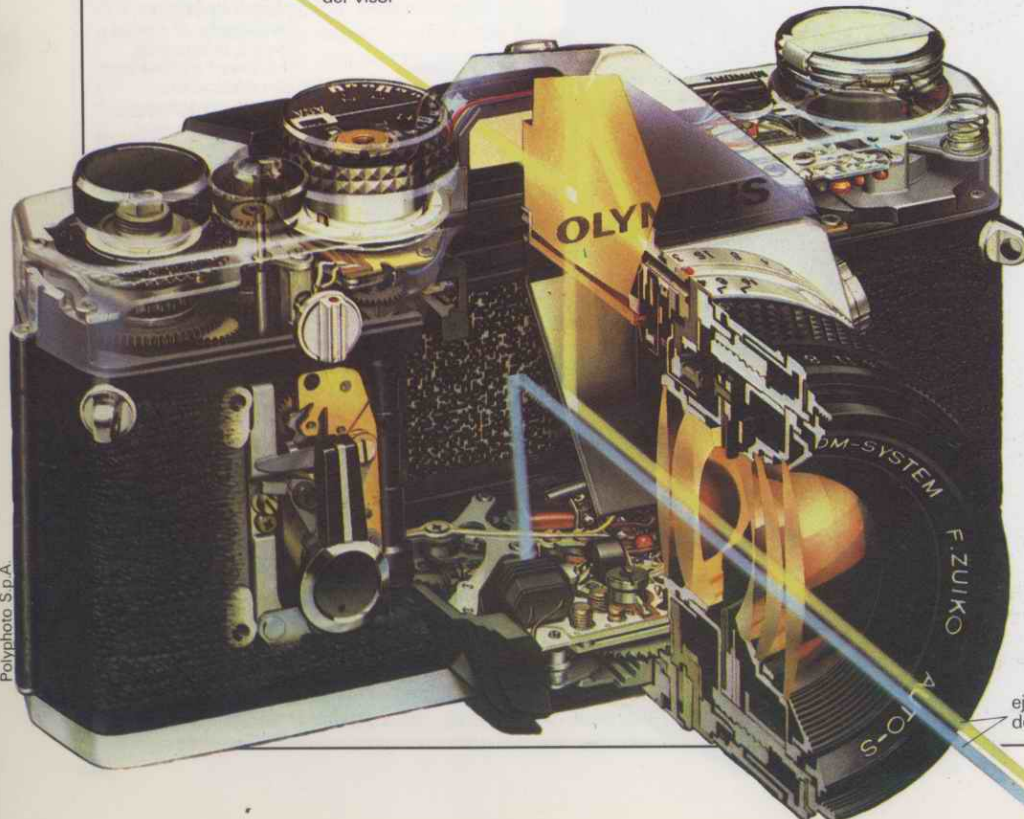
La mayor parte de las cámaras actuales llevan incorporados otros dos dispositivos que sirven de importante ayuda: el *fotómetro*, que mide la luz que llega al interior de la cámara, y el *telémetro*, que permite ajustar, de manera precisa, la distancia al sujeto u objeto que se desea fotografiar.

El objetivo En su forma más simple, es un trozo de vidrio pulido en forma de lenteja. Para evitar los defectos de nitidez que aparecen en las imágenes, los objetivos se fabrican agrupando una serie de lentes de forma que el conjunto se comporte como una lente única. La característica principal de un objetivo es la *longitud* o *distancia focal* y representa la distancia entre la lente y el lugar donde convergen los rayos de luz después de pasar a través de ella. El objetivo normal para un aparato que utiliza película de 35 mm tiene una longitud focal entre 45 y 58 mm. En cámaras dotadas de objetivos intercambiables pueden adaptarse *teleobjetivos*, con longitudes focales mayores y un campo visual bajo que producen un efecto de acercamiento de la imagen similar al de un catalejo, y objetivos *gran angular*, con longitudes focales pequeñas y, por tanto, campo visual amplio.

Para evitar la incómoda sustitución de objetivos, aparecieron los de longitud focal variable o *zoom*, que permiten el alejamiento o acercamiento del sujeto para conseguir el encuadre ideal, pudiendo actuar como gran angular o teleobjetivo según las necesidades.

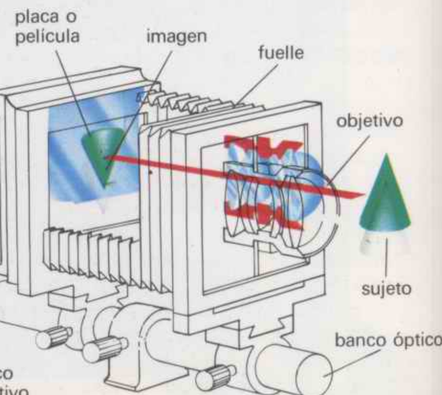
El diafragma Se encuentra generalmente en el interior del objetivo. Está formado por un anillo provisto de laminillas metálicas superpuestas que definen un área libre en su parte central a través de la cual pasa la luz procedente del sujeto. Girando el anillo puede variarse el diámetro del área libre (diámetro efectivo) y, por tanto, controlarse la cantidad de luz que alcanza la película.

Los diafragmas están calibrados en números *f* que van grabados en la parte exterior del anillo en el siguiente orden: f/1.4; f/2; f/2.8; f/4; f/5.6; f/8; f/11; f/16; f/22 y f/32. Cada uno de ellos permite el paso de doble cantidad de luz que el siguiente, y se calculan dividiendo la longitud focal del objetivo entre el diámetro efectivo del diafragma. Así, por ejemplo, para un obje-





A la izquierda un esquema del funcionamiento de un visor a través del objetivo "réflex". La imagen invertida del sujeto es proyectada mediante un espejo a un pentaprisma, desde donde, después de una doble reflexión para corregir la inversión de la imagen, es enviada al ocular.
Debajo, el esquema dibujado muestra la estructura de una cámara fotográfica →





profesional montada sobre un banco óptico. Sus dimensiones permiten tomas de formato grande (13×18 cm), pero su uso está prácticamente limitado a los estudios fotográficos. Esta cámara, con un diseño muy parecido a los modelos del siglo pasado, puede bascular según sus planos horizontal y vertical para corregir las distorsiones debidas a la perspectiva de las tomas. A la izquierda, una moderna cámara "réflex", o de formato pequeño, que utiliza película de cine de 35 mm. Con este formato se consiguen fotogramas de dimensiones 24×36 mm. En el corte puede observarse la trayectoria que recorren los rayos a través del objetivo, visor y fotómetro, y la presencia de microcircuitos electrónicos destinados a la regulación automática de la toma. En esta página, los diversos encuadres de un mismo paisaje, obtenidos mediante el uso de objetivos de distinta distancia focal. Cuanto menor es ésta, mayor es el campo tomado.

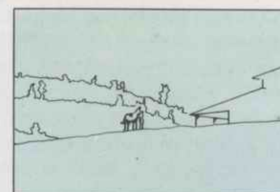
tivo de 50 mm de longitud focal, f/4 significa que el diámetro del diafragma en esa posición es la cuarta parte, es decir, 12,5 milímetros.

El obturador Este mecanismo, que controla los tiempos de exposición, fue introducido en las cámaras fotográficas cuando el desarrollo de los materiales sensibles hizo que los tiempos requeridos fueran demasiado cortos para un correcto control manual. Aunque los primeros modelos de obturadores datan de finales del siglo XIX, todavía en la actualidad pueden verse en los parques y ferias fotógrafos callejeros que utilizan como obturador la tapadera del objetivo (que quitan y vuelven a colocar después de un tiempo, siempre aproximado, que ellos, por experiencia, conocen).

Dos son los tipos de uso más frecuentes. El obturador de *laminillas metálicas*, que se encuentra junto al diafragma y tiene un principio similar a él. Las laminillas se mantienen siempre cerradas y sólo se abren en el momento del disparo durante un tiempo previamente fijado. Son silenciosos, pero la velocidad máxima está limitada a 1/500 s. Los obturadores *de cortinilla*, o de plano focal, van situados en el

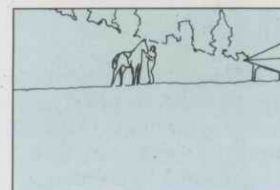


objetivo gran angular de 24 mm



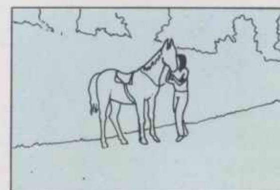


objetivo de 35 mm



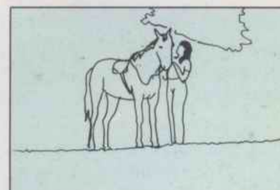


objetivo normal de 50 mm



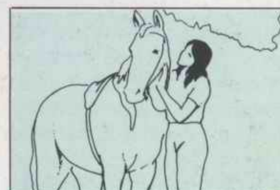


objetivo 80 mm





teleobjetivo de 200 mm





teleobjetivo de 400 mm



Polyphoto S.p.A.

cuerpo de la cámara, junto a la película, y están constituidos por dos cortinillas separadas una distancia que depende del tiempo de exposición. Cuando se produce el disparo, las cortinillas se desplazan de un lateral al otro de la cámara, permitiendo que la luz, que pasa por el espacio libre entre las dos cortinillas, barra uniformemente la emulsión de la película. Con estos obturadores, aunque más complejos y ruidosos, se consiguen tiempos de hasta 1/2.000 s y admiten la utilización de objetivos intercambiables.

La escala de velocidades en cualquier cámara se extiende desde 1 segundo hasta 1/500, 1/1.000 ó 1/2.000 s, dependiendo del modelo de que se trate. En el anillo selector están grabados los denominadores de las fracciones de segundo, de forma que cada uno representa aproximadamente el doble de tiempo que el siguiente: 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 125, 250, 500, 1.000, 2.000. Las modernas cámaras electrónicas, una vez ajustado el diafragma, seleccionan automáticamente el tiempo de exposición requerido, pudiendo tomar cualquier valor, y no necesariamente uno de los números mencionados. Para condiciones de luz muy débil, existe una posición *B* en la cual el obturador se mantiene abierto durante el tiempo que el disparador esté presionado.

El visor En los antiguos aparatos fotográficos que utilizaban placas únicas, un vidrio esmerilado situado en el plano focal permitía seleccionar el encuadre más adecuado y un enfoque correcto de la imagen. Antes de la toma, el vidrio era sustituido por un portaplacas en donde se encontraba la emulsión sensible. Con la aparición de las películas en rollo y las cámaras capaces de captar "instantáneas" este procedimiento de encuadre, obviamente lento y laborioso, quedó restringido a las grandes cámaras de estudio. Las demás iban dotadas de un visor consistente en un simple sistema óptico, de manera que mirando a través suyo podía obtenerse una idea bastante aproximada de lo que la cámara "veía", y consecuentemente seleccionar el encuadre deseado.

Este equipo de visores no proporciona información de si el objetivo está tapado accidentalmente por un dedo, la funda de la propia cámara o cualquier otro objeto. Además, la distancia de separación existente entre objetivo y visor da lugar a un error, llamado *de paralaje*, que hace que el área encuadrada por el fotógrafo no se corresponda exactamente con el área que "ve" la cámara. Este error, despreciable cuando se enfoca al infinito, debe ser tenido en cuenta cuando se realizan retratos y, en general, planos cortos o primeros planos.

Las modernas cámaras *reflex* han solucionado estos problemas mediante un procedimiento mecánico considerablemente complejo. Básicamente consiste en un espejo, situado detrás del objetivo y formando un ángulo de 45 grados con el eje óptico, que envía la imagen al ocular a través de un prisma situado en la parte superior de la cámara, a la que confiere una forma característica. En el instante que se oprime el pulsador de disparo, el mismo muelle que corre la cortinilla del obturador hace que el espejo se levante, permitiendo que la luz llegue hasta la película. Cuando la exposición ha terminado, el espejo retorna a su posición de reposo, liberando los muelles afectados y permitiendo preparar el obturador para un nuevo disparo.

A pesar del mayor precio y peso de las cámaras *reflex*, la posibilidad de intercambiar objetivos, de enfocar desde el visor y de admitir una enorme cantidad de accesorios ha hecho que los aficionados del mundo entero presten creciente atención a este tipo de cámara que, con la incorporación de una sofisticada tecnología electrónica, está conociendo un espectacular desarrollo en los últimos años.

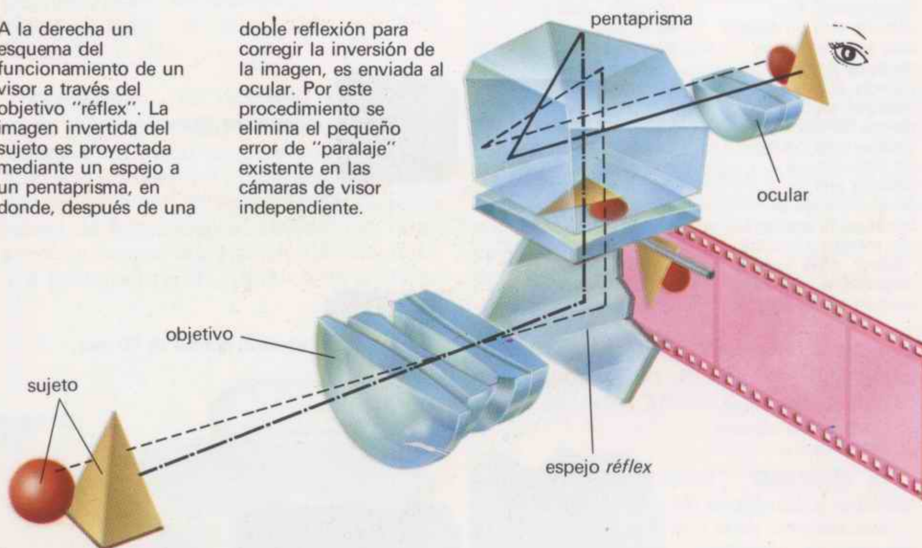
eje de observación

palanca que controla la coincidencia y que es accionada por el objetivo

objetivo

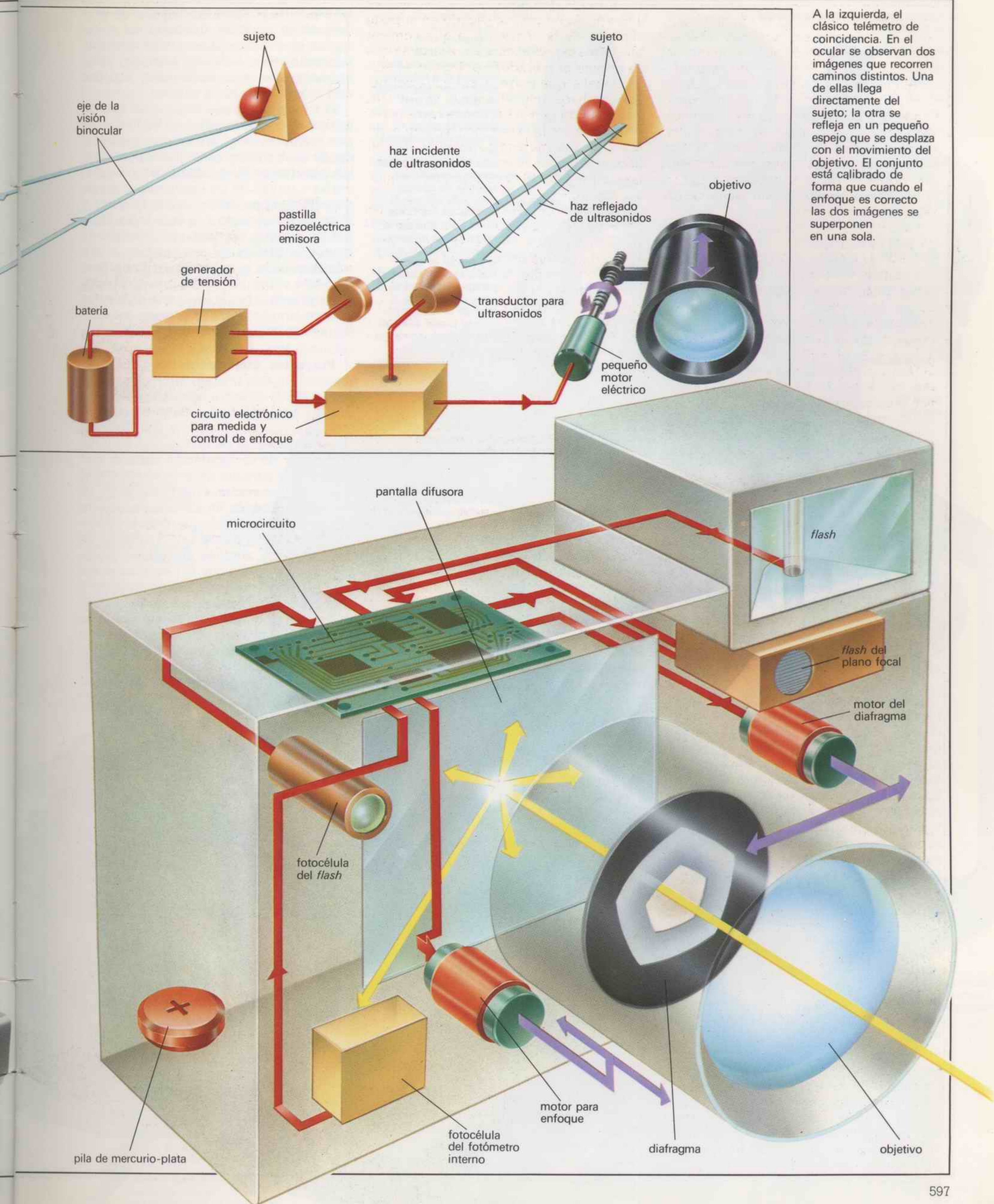
Véase **Fotografía; Fotografía, iluminación; Fotómetro; Objetivo fotográfico**

A la derecha un esquema del funcionamiento de un visor a través del objetivo "réflex". La imagen invertida del sujeto es proyectada mediante un espejo a un pentaprisma, en donde, después de una doble reflexión para corregir la inversión de la imagen, es enviada al ocular. Por este procedimiento se elimina el pequeño error de "paralaje" existente en las cámaras de visor independiente.



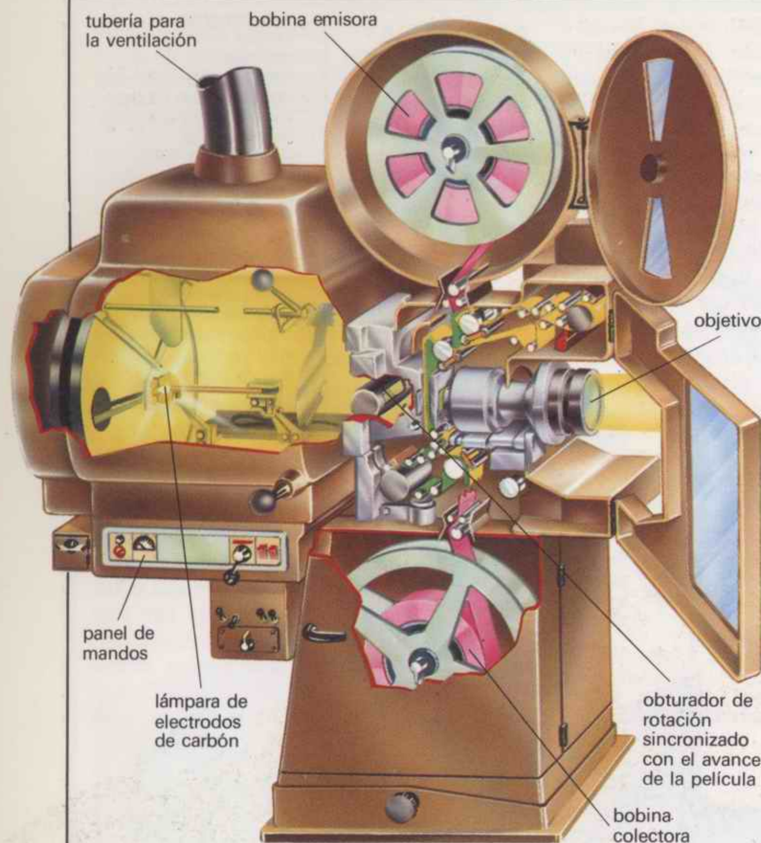
Debajo de estas líneas, una cámara de formato subminiatura. Puede utilizar películas de formato de cine, de 16 mm. En algunos modelos la gran calidad de los objetivos permite ampliaciones de 13×18 con una aceptable resolución. En la otra página abajo, representación de la parte electrónica de una cámara fotográfica que puede por sí misma resolver los problemas que se le presentan al fotógrafo en el momento de la toma. El circuito integrado puede ajustar el enfoque, regular el diafragma, calcular la intensidad luminosa del *flash* y determinar el tiempo de exposición necesario para que la fotografía resulte correcta.





A la izquierda, el clásico telémetro de coincidencia. En el ocular se observan dos imágenes que recorren caminos distintos. Una de ellas llega directamente del sujeto; la otra se refleja en un pequeño espejo que se desplaza con el movimiento del objetivo. El conjunto está calibrado de forma que cuando el enfoque es correcto las dos imágenes se superponen en una sola.

Cámara y proyector cinematográficos



A la izquierda, un proyector cinematográfico clásico. Se trata de un modelo de arco voltaico que funciona todavía con electrodos de carbón. El arco voltaico ha sido sustituido en los proyectores modernos por una lámpara de arco de tungsteno con xenón a presión en ampolla de cuarzo, cuya vida útil puede superar las mil horas. Cualquiera que sea el tipo de arco utilizado, el calor irradiado sobre la película es tan fuerte que en caso de parada accidental se corre el riesgo de quemar el fotograma, lo cual puede evitarse mediante un diafragma de emergencia.

Abajo, una cámara profesional de 16 mm. Estos modelos son de óptica intercambiable y de visión *réflex* con el fin de encuadrar correctamente con cada uno de los objetivos, evitando así los problemas de paralaje que se producirían →

Una toma cinematográfica consiste en captar escenas en movimiento mediante una secuencia de fotogramas inmóviles, que al ser después proyectados, con velocidad idéntica a la de captación, sobre una pantalla por medio de un proyector producen en el espectador una sensación de movimiento real.

Cámara de cine Como una cámara fotográfica que obtiene fotogramas individuales, una cámara de cine tiene un objetivo que capta la luz reflejada por el objeto que ha de ser fotografiado y la enfoca sobre una emulsión fotográfica —película— en el interior de la máquina, produciendo imágenes. Pero, a diferencia de la cámara fotográfica, la de cine capta la acción tomando fotogramas sucesivos, haciendo avanzar la película y accionando el obturador al ritmo de 24 imágenes por segundo. Teniendo también la posibilidad de grabar simultáneamente el sonido.

Una cámara está compuesta por cinco piezas principales. Veámoslas. El *objetivo*, formado por un conjunto de lentes esmeriladas y pulidas con precisión, recoge la luz necesaria para impresionar la película. Los objetivos, con diversas distancias focales (capaces de captar espacios más amplios o más reducidos, o de enfocar imágenes lejanas como si estuvieran próximas), solían estar antes reunidos en una torreta giratoria. En la actualidad esa torreta ha sido sustituida en muchos casos por los objetivos "zoom", cuya distancia focal puede variarse fácilmente incluso durante la toma; en estos casos, y para evitar movimientos de la cámara que perjudicarían gravemente la filmación, se emplea generalmente un motor eléctrico, que proporciona además una mayor uniformidad en la variación de la distancia focal.

La *película* se encuentra alojada en un chasis provisto de dos bobinas: en una de ellas se encuentra la película virgen (no expuesta) y en la otra se recoge, tras haber pasado a través de todos los mecanismos de la cámara, y con las imágenes latentes, la película ya expuesta. La capacidad de esas bobinas suele ser de 120 m ó 300 m, y la carga y descarga de los chasis ha de ser realizada separadamente en una cámara oscura. La película va desenrollándose de la primera bobina gracias a un mecanismo de tracción que la hace pasar a través de un canal portapelículas; allí un mecanismo de arrastre la transporta intermitentemente mediante un garfio que se inserta en las perforaciones laterales de que va provista la película, colocándola, fotograma a fotograma, frente a la ventanilla de exposición, donde es presionada por una placa que la mantiene justo en el plano donde ha sido enfocado el objetivo.

Sincronizado con este mecanismo de arrastre se encuentra el *obturador*. Está situado entre el objetivo y la película y actúa como una cortinilla, cerrándose cuando se mueve la película y abriéndose durante la toma, permitiendo a la luz enfocada por el objetivo alcanzar la película e impresionar las imágenes.

Antes de ser enrollada en la bobina de recogida, la película puede pasar a través de un *dispositivo de grabación sonora*, aunque generalmente el sonido es registrado separadamente. Con la llegada de las películas sonoras, las cámaras de cine, demasiado ruidosas, debieron ser encerradas en estuches insonorizados con un procedimiento llamado *blimping*. Hoy normalmente este aislamiento acústico está incorporado en la cámara.

Por lo general una cámara de estudio es pesada y para muchas de las funciones que realiza se requiere un *motor* accesorio. Se usan motores eléctricos para girar las cámaras en las panorámicas; para moverlas a través de un escenario, un pesado vehículo con grúa eleva la máquina y al operador sentado a su lado sobre el lugar de la toma; un carro con cabrestante mueve la cámara de una posición a otra, adelante, atrás, y, como un cangrejo, lateralmente sobre las cuatro ruedas. El operador puede obtener una serie de efectos ópticos simplemente levantando y bajando la cámara.

Proyector cinematográfico La proyección de una imagen impresionada en una película se logra haciendo pasar una intensa luz a través de ella y colocando a continuación un objetivo a una distancia fija, que depende de la distancia focal del objetivo y de la separación entre el proyector y la pantalla de proyección. En el caso del proyector cinematográfico, es necesario también un sistema de arrastre intermitente que coloque con precisión cada fotograma frente a la ventanilla de proyección, y, además, un sistema de obturación que evite que la película sea iluminada mientras está en movimiento y que permita su iluminación durante el reposo. La fuente luminosa se encuentra en el fondo del proyector, y consiste en una lámpara de arco de tungsteno en ampolla de cuarzo llena con gas xenón a presión; esta lámpara se encuentra situada en el

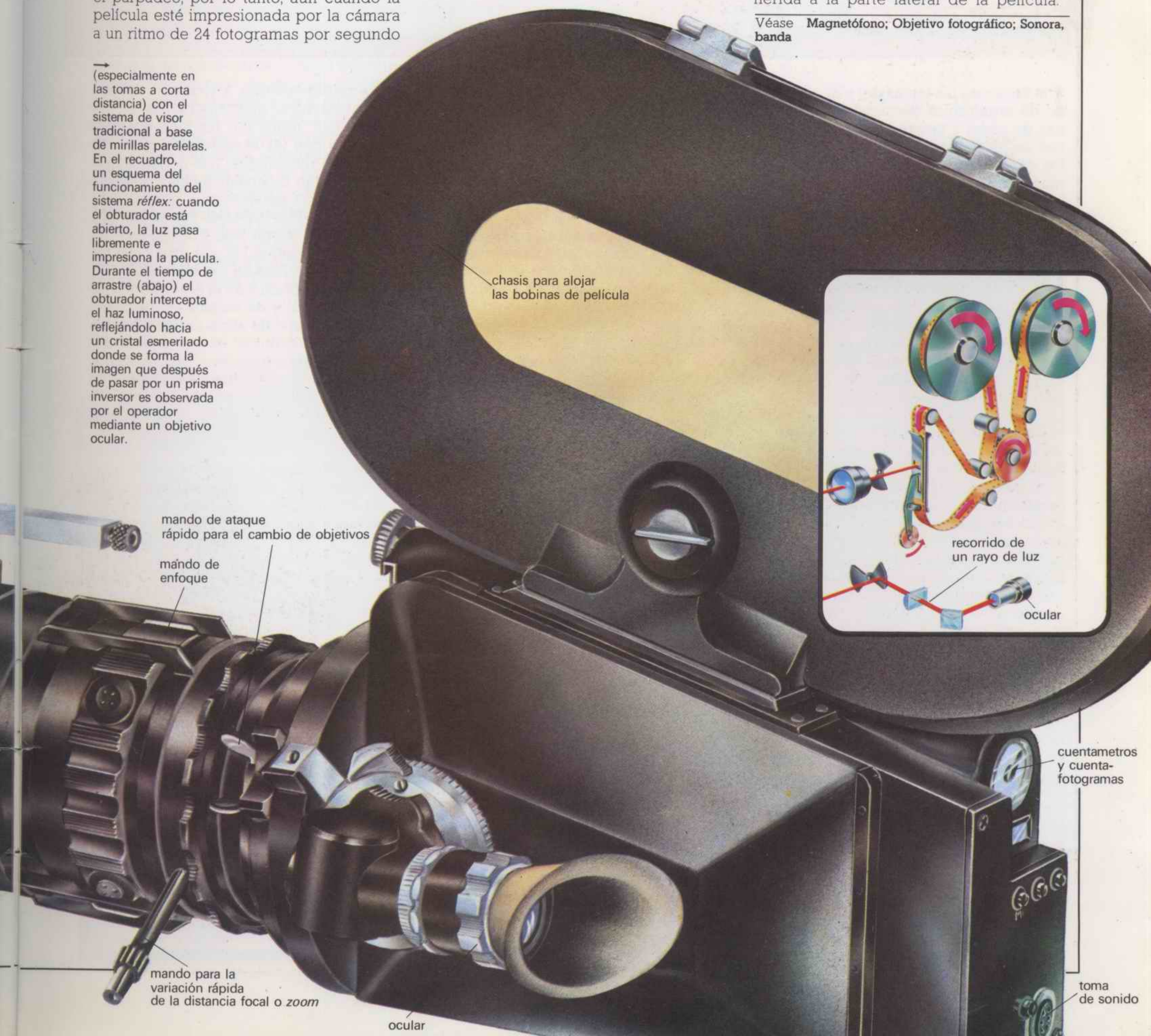


foco de una parábola reflectora que concentra la luz sobre la película. En los proyectores modernos se coloca una lámpara de repuesto, que se conecta automáticamente, pasando a ocupar la posición de la primera, en el momento que ésta se funde: ello evita tener que suspender la proyección por ese motivo. En cuanto a los sistemas de arrastre y obturación, son prácticamente iguales que los de la cámara salvo un pequeño detalle en el caso del obturador.

En la práctica se ha comprobado que cualquier fuente luminosa que se encienda y apague con una frecuencia superior a 48 veces por segundo es vista por el ojo humano de la misma forma que si estuviese constantemente encendida; es decir, a partir de esa frecuencia el ojo no aprecia el parpadeo, por lo tanto, aun cuando la película esté impresionada por la cámara a un ritmo de 24 fotogramas por segundo (que es suficientemente alto como para producir una sensación de movimiento uniforme sin saltos bruscos de un fotograma al siguiente), sobre la pantalla se proyectan 48 fotogramas por segundo para evitar que el ojo humano acuse el parpadeo de la luz. Cada vez que se posiciona un fotograma, se abre el obturador, que se cierra después de un breve intervalo (aproximadamente 1/96 segundos); luego se vuelve a abrir de nuevo mientras el mismo fotograma se encuentra todavía detrás del objetivo. Así, 48 impulsos luminosos por segundo, dos por cada fotograma, son proyectados sobre la pantalla. Aunque la imagen persiste en la retina durante un cierto tiempo después de que se ha interrumpido la visión, la película daría la impresión de intermitencia si sólo se proyectaran 24 impulsos luminosos por segundo.

La banda sonora —una estrecha tira a lo largo de la parte lateral de la película, que tiene impreso el registro del sonido— varía según el método empleado en su grabación. En la grabación óptica, las ondas sonoras modulan un rayo de luz y la banda sonora es un registro fotográfico de las variaciones luminosas. Para reproducir el sonido, un rayo de luz atraviesa la banda sonora y es recogido por una célula fotoeléctrica que está unida a un altavoz a través de un amplificador, invirtiendo el proceso seguido en la fase de grabación. En la banda magnética, los impulsos eléctricos se transforman en impulsos magnéticos sobre una delgada cinta cubierta de material magnético que se encuentra adherida a la parte lateral de la película.

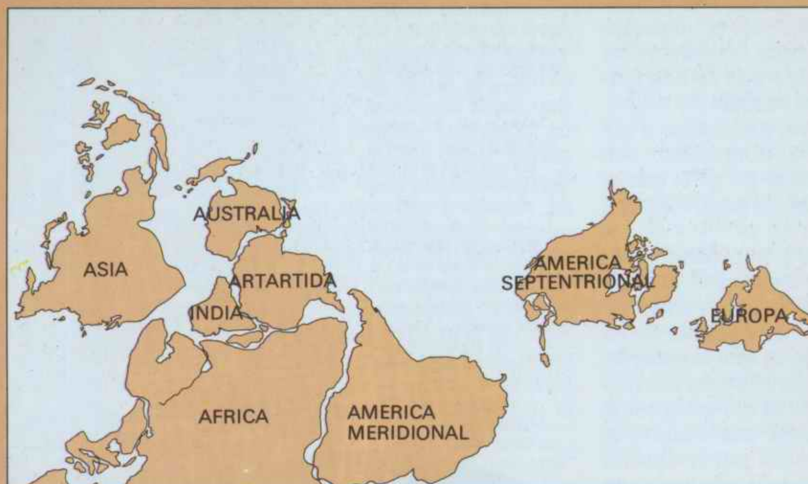
Véase **Magnetófono; Objetivo fotográfico; Sonora, banda**



→ (especialmente en las tomas a corta distancia) con el sistema de visor tradicional a base de mirillas parelelas. En el recuadro, un esquema del funcionamiento del sistema *réflex:* cuando el obturador está abierto, la luz pasa libremente e impresiona la película. Durante el tiempo de arrastre (abajo) el obturador intercepta el haz luminoso, reflejándolo hacia un cristal esmerilado donde se forma la imagen que después de pasar por un prisma inversor es observada por el operador mediante un objetivo ocular.

Cámbrico, período

Años 10^6	Eras	Períodos	
	Cenozoica	Cuaternario	
1,8		Terciario	Neógeno
			Paleógeno
67	Mesozoica	Cretácico	
141		Jurásico	
195		Triásico	
230	Paleozoica	Pérmico	
280		Carbonífero	
347		Devónico	
396		Silúrico	
435		Ordoviciense	
500		Cámbrico	
570	Precámbrica	Proterozoico	
2.700		Arcaico	
4.000			



En el mapa, las tierras emergidas en el Cámbrico, período que se inició hace 570 millones de años y duró 70 millones de años. Son evidentes cuatro grandes masas continentales: la asiática, la norteamericana, la europea y la formada por la unión de aquellas tierras que más tarde constituirán Africa, América meridional, la India, Madagascar, la Antártida y Australia. En correspondencia con la costa del actual Senegal se encontraba el Polo Sur.

Imaginemos las aguas del mar pobladas de organismos discoidales, con decenas de patas y largas antenas, una multitud de animales vagamente parecidos a los cangrejos de nuestros días. Esas formas, ya extinguidas, dominaron el ambiente marino durante más de 70 millones de años. Se encuentran algunas en estado fósil en las rocas que se formaron en el período geológico conocido con el nombre de *Cámbrico*.

El Cámbrico, que empezó hace 570 millones de años, es el período en cuyo transcurso la vida animal deja por primera vez restos fósiles evidentes, aunque la vida sobre la Tierra tuvo su origen casi dos millones de años antes. Es un período particularmente importante para comprender la historia de la evolución, especialmente por lo que concierne a la vida en el mar y a sus sucesivas transformaciones.

Los geólogos y los paleontólogos subdividen la historia de nuestro planeta en cuatro eras, de una duración de centenares de millones de años; cada era se subdivide en períodos más cortos que señalan fases distinas en la historia de la evolución. Acababa de ser aplicado este sistema, en 1835, cuando el geólogo inglés Adam Sedgwick concluyó que todo un grupo de capas de roca sorprendentemente complejo y rico en fósiles, localizado en la parte norte del País de Gales, había tenido su origen en un único período de tiempo que él llamó período Cámbrico. El nombre Cámbrico viene de Cambria, una versión latinizada de la palabra galesa *cymry* ("pueblo") que se hizo muy popular en el siglo XIX como nombre poético para indicar el País de Gales. Los fósiles de las capas de roca de Sedgwick pertenecían a algunas de las más antiguas formas de vida sobre la Tierra, incluidos los trilobites. El Cámbrico es, así, el primer período de la segunda era geológica, la Paleozoica.

Casi inmediatamente, el período Cámbrico fue objeto de discusiones científicas. Adam Murchison, colega de Sedgwick, afirmó que dichos estratos pertenecían a otro período, geológicamente más reciente, que él llamó período Silúrico. En realidad la última parte del Cámbrico de Sedgwick coincidía con la primera parte del Silúrico de Murchison. Después de 44 años de disputas sobre el período al que pertenecían las capas en discusión, la cuestión se resolvió por fin, a la muerte de ambos, con la introducción entre medias de un nuevo período, el Ordoviciense. Ahora sabemos que muchas de las dudas se debían al hecho de que las rocas cámbricas inglesas son de las más complejas y por tanto de muy difícil estudio.

En general, hoy día se acepta la hipótesis de Sedgwick. El comienzo del período Cámbrico se caracteriza por la repentina aparición sobre nuestro planeta de animales como trilobites y otros invertebrados. Entre la era Precámbrica (el lapso de 4.000 millones de años que va desde la formación de la Tierra hasta los primeros fósiles cámbricos) y el período Cámbrico hay un misterioso vacío: por un lado hay huellas de las más simples y primitivas formas de vida, mientras que por otro, pocos millones de años más tarde, hay fósiles pertenecientes a todas las categorías sistemáticas más importantes del Reino Animal, todos sin ninguna conexión evidente con las sencillísimas formas de vida del Precámbrico. Los períodos geológicos están cronológicamente definidos —entre otros parámetros— por los cambios en aquellas especies que se han conservado en estado fósil. Por eso son difíciles de reconstruir los primeros y más importantes cambios en los animales.

En el Cámbrico y en el Precámbrico había abundante vida vegetal en los mares, con predominio de algas azules y verdes. Durante el Cámbrico, las redes laminares de algas invadieron las aguas, utilizando la luz del sol y sirviendo de alimento a las nuevas formas de vida que se iban desarrollando.

En este período de importantes cambios en los animales y en los vegetales, los invertebrados más importantes eran los trilobites; constituían casi las tres cuartas partes de todos los fósiles del Cámbrico. Se trataba de artrópodos, con patas articuladas, de pocos milímetros a casi medio metro de largo, que llegaron a pesar hasta cinco kilos. Todo su cuerpo estaba cubierto del mismo material rígido y resistente que forma el esqueleto externo de los crustáceos y de los actuales insectos: la *quitina*. Vistos por detrás, los trilobites presentan el cuerpo dividido longitudinalmente en tres secciones segmentadas llamadas *lóbulos*; su nombre viene de esta característica. Cada segmento del lóbulo externo tenía un par de pequeños apéndices parecidos a unas patas: uno provisto de órganos sensitivos y para la

En el período Cámbrico no hubo movimientos orogénicos, pero a lo largo de los márgenes de las masas continentales, en algunas zonas en las que, a elevadas profundidades, la deposición de los sedimentos era más intensa, ya se preparaban los mecanismos de formación de las montañas. El Cámbrico se puede dividir en tres épocas: el inferior o Georgiense, el medio o Acadiense y el superior o Potsdamiense. El clima debía ser uniforme y bastante cálido. La vida se desarrollaba exclusivamente en el ambiente marino y típicas de este período son la gran expansión de las algas cianofíceas y la aparición de organismos animales con esqueleto, como se ha podido observar por los testimonios fósiles. Había protozoos, representados por los radiolarios; esponjas silíceas; arqueociáticos (que desaparecieron al final del período), importantes en la construcción de arrecifes; algunos géneros de braquiópodos; gasterópodos y cefalópodos con formas nautiloideas; ostrácodos; crustáceos, y representantes de equinodermos. Los grandes ausentes eran los vertebrados, que no harán su aparición hasta el período Silúrico.

nutrición, y otro que usaban para moverse. La mayor parte tenía un par de ojos compuestos, pero algunos carecían de los órganos de la vista. Como todas las demás especies del Cámbrico, habitaban los mares poco profundos y de aguas cálidas, que eran los que predominaban en aquella época.

Cuando un trilobites crecía, cambiaba su exoesqueleto, formando otro nuevo. Los fósiles de los trilobites que se encuentran más comúnmente son justamente los de estos exoesqueletos abandonados. La frecuencia con la que se han hallado ha permitido observar cada fase de la vida de estos seres. Aunque se conozca ya casi todo sobre su constitución, los investigadores se maravillan aún de cómo se han podido originar mecanismos tan complejos como los invertebrados del Cámbrico.

No hay todavía ninguna explicación segura de ese misterio, pero la hipótesis más convincente es que el origen de los trilobites, y al menos de otros 19 tipos diferentes de invertebrados del período Cámbrico, está unido a la historia de la atmósfera terrestre. En la era Precámbrica había poco oxígeno en el aire. Actualmente hay en la atmósfera una forma alotrópica del oxígeno, el *ozono*, que sirve de pantalla protectora contra las mortales radiaciones ultravioleta del Sol. Si no existiese esa pantalla, la mayoría de las formas de vida habría perecido en sus inicios y los seres complejos como los trilobites no habrían podido desarrollarse. Por lo tanto, según esta hipótesis, las primeras plantas y algas unicelulares utilizaban la *fotosíntesis* (proceso que mediante la energía solar transforma el dióxido de carbono y el agua en sustancias nutritivas) para crear oxígeno durante la última mitad de la era Precámbrica. Al final, el oxígeno del agua, transformándose en ozono, fue suficiente para bloquear los rayos ultravioleta del Sol, permitiendo el desarrollo de muchos animales invertebrados.

En el transcurso de los 70-100 millones de años del período Cámbrico, la mayor parte de los continentes emergió lentamente del Océano. Las aguas someras que cubrían amplísimas áreas estaban habitadas por gran cantidad de trilobites. Se piensa que la historia evolutiva del Cámbrico no es más que una serie de repetidos intentos, por parte de los varios tipos de invertebrados, de pasar a nuevas regiones de los océanos. La pervivencia de la mayor parte de las especies animales no era demasiado larga, como lo demuestra la rápida aparición y desaparición de especies en los hallazgos de fósiles. Hasta los trilobites pudieron haber sido esporádicamente aniquilados en algunas zonas, probablemente por los repentinos aumentos de temperatura o por las radiaciones solares.

De todas formas, hacia finales del Cámbrico algunas especies eran suficientemente aptas para colonizar las aguas someras durante largos períodos de tiempo. Uno de esos grupos estaba compuesto por los trilobites, que alcanzaron su apogeo en el período Silúrico, durante el cual se produjo un hecho de gran importancia: la aparición de las primeras plantas terrestres.

Véase **Atmósfera, evolución de la; Fotosíntesis; Ordoviciense, período; Palezoica, era; Silúrico, período**

En el Cámbrico, los mares eran poco profundos y estaban llenos de vida. Las medusas vagaban entre las algas y las medusas silíceas permanecían fijas al fondo con un pedúnculo; entre los artrópodos, los trilobites eran los más numerosos; entre los moluscos estaban presentes los primeros lamelibranquios, gasterópodos y cefalópodos con formas nautiloideas.



Campo magnético

Si se esparcen limaduras de hierro en una hoja de papel situada sobre una barra imantada, éstas se distribuirán inmediatamente formando determinadas figuras: se situarán a lo largo de líneas que van de un punto a otro del papel, justo encima de los extremos o *polos* del imán. Se puede decir que las líneas son aproximadamente concéntricas, teniendo una configuración parecida a las capas de una cebolla. Las limaduras de hierro se colocan en esa posición aunque el imán no esté en contacto directo con el papel.

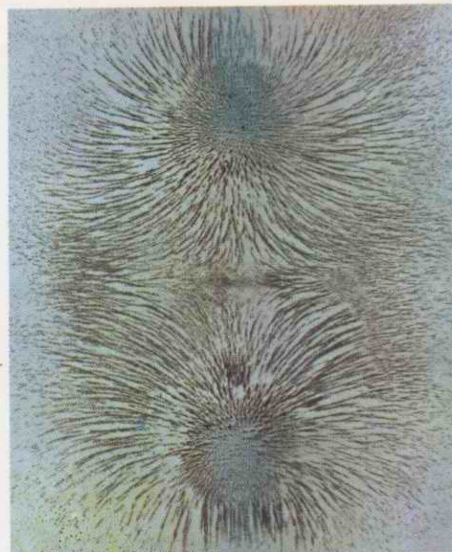
Campos y líneas de fuerza El comportamiento de las limaduras de hierro refleja la existencia de lo que los científicos llaman *campo*, es decir, aquella zona del espacio en la que se manifiesta una *fuerza*. El campo gravitatorio de la Tierra, por ejemplo, es la zona del espacio en la que se manifiesta la fuerza del peso de los objetos. Los científicos esquematizan con una representación gráfica formada por líneas imaginarias, llamadas *líneas de fuerza*, la dirección a lo largo de la cual se ejercen las fuerzas del campo; por ejemplo, las líneas de fuerza que representan de forma gráfica la gravedad terrestre son rectas con flechas dirigidas hacia el centro de la Tierra.

No todos los diferentes tipos de campos se comportan de modo semejante; así, mientras un campo gravitatorio ejerce una fuerza sobre todos los objetos contenidos en su interior (debido a su masa), un campo magnético ejerce fuerzas sólo sobre aquellos objetos capaces de crear a su vez un campo magnético, notándose la influencia únicamente en los imanes y en las cargas eléctricas en movimiento.

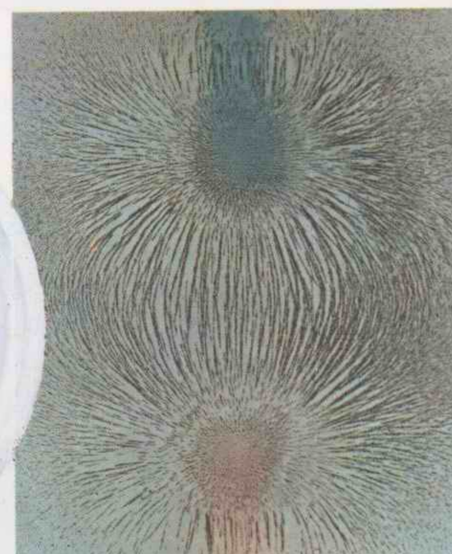
Una barra imantada está *polarizada*, lo que significa que el efecto se manifiesta con más intensidad y con distinto signo en dos puntos del imán llamados *polos*. Las líneas de fuerza del campo magnético van de un polo a otro, siendo la configuración adoptada por las limaduras de hierro la representación exacta de las líneas de fuerza de la barra imantada.

Las líneas de fuerza de un campo no se cruzan nunca, y la intensidad de éste se representa por la proximidad que exista entre las líneas. Las distintas sustancias oponen una mayor o menor resistencia al paso de los campos magnéticos a través de ellas. Los materiales que permiten que las líneas de fuerza del campo magnético les atraviesen fácilmente se llaman *ferromagnéticos*, es decir, son permeables al campo magnético. El hierro y el níquel son muy permeables, mientras que el aire y otros elementos lo son mucho menos.

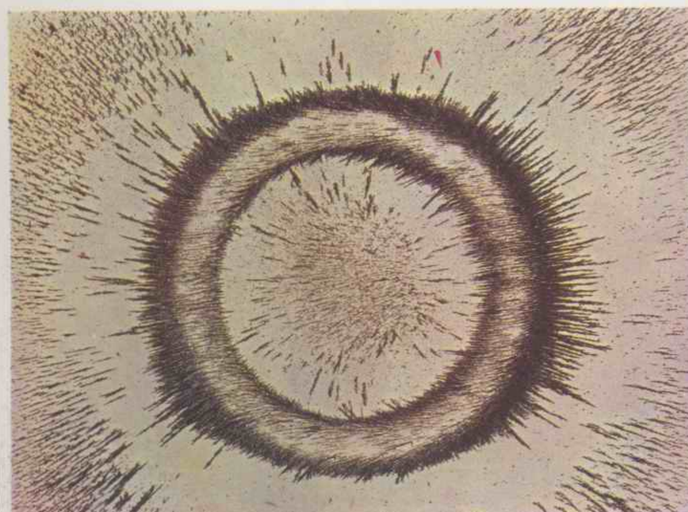
Alineamiento Los efectos de los campos magnéticos son bastante más complejos que los de los campos gravitatorios, en los que únicamente se atraen unos objetos a otros. Cuando dos campos magnéticos interaccionan, tienden a alinearse el uno respecto al otro. La brújula es un ejemplo de este comportamiento, ya que se trata de una barra imantada que puede moverse libremente en el plano horizon-







La Tierra se comporta como un gigantesco imán, creando un intenso campo magnético en el espacio que la rodea, del que en el dibujo de arriba están representadas esquemáticamente las líneas de fuerza. Debajo pueden verse las líneas de fuerza del campo creado por un imán con forma de anillo (a la izquierda) y por un imán recto (a la derecha). Igual que sucede para las cargas eléctricas, dos polos iguales (es decir, dos polos norte o dos polos sur) se rechazan, como se rechazan dos cargas eléctricas del mismo signo. En cambio, dos polos distintos (uno norte y uno sur) se atraen, igual que dos cargas eléctricas de signo opuesto. Poniendo debajo de un papel los polos norte (o sur) de dos imanes, se verá cómo la limadura de hierro se





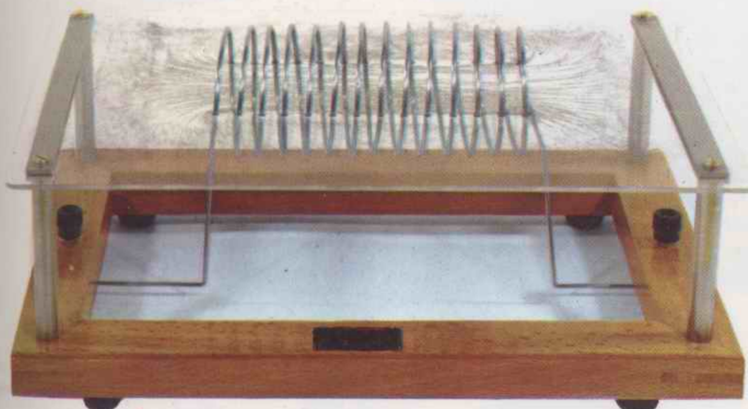
tal y que tiende a dirigir sus polos, uno hacia el norte magnético y el otro hacia el sur magnético. El extremo de la barra que apunta hacia el norte recibe el nombre de *polo norte*, y el otro extremo, el de *polo sur*. El campo magnético de la Tierra, cuyos polos se encuentran relativamente cerca de los polos norte y sur geográficos, es el responsable de la dirección tomada por la aguja imantada, que se sitúa paralela a las líneas de fuerza del campo magnético terrestre. Teniendo en cuenta que cada trocito de limadura de hierro es un pequeño imán, su comportamiento, al formar figuras regulares sobre el trozo de papel, es otro ejemplo de cómo un campo magnético produce fuerzas capaces de crear un alineamiento a lo largo de las líneas de fuerza del campo.

Electromagnetismo Los campos magnéticos están estrechamente relacionados con los *campos eléctricos*, zonas del espacio en las que se ejercen fuerzas entre cargas eléctricas u otros cuerpos cargados eléctricamente. La corriente eléctrica consiste en un flujo de pequeñas partículas con carga negativa, llamadas *electrones*. El movimiento de esas partículas a lo largo de un hilo conductor produce un campo magnético. Si un conductor atraviesa perpendicularmente una hoja de papel con limaduras de hierro, los trocitos de limadura se colocarán en círculos concéntricos alrededor del hilo: hecho que demuestra la presencia de un campo magnético. Sujetando con la mano derecha el conductor de forma que el pulgar apunte en la dirección opuesta al flujo de electrones, los otros dedos indicarán la dirección norte de las líneas de fuerza del campo. Esta es la llamada *regla de la mano derecha*, válida para hilos conductores de corriente.

Si se arrolla un hilo conductor formando espiras y por él circula corriente, el campo magnético producido resultará mucho más intenso. Si ahora se agarra la espiral, de forma que los dedos de la mano derecha se dirijan en el sentido opuesto al del flujo de electrones, el pulgar indicará el polo norte de las líneas de fuerza del campo. Esta es la llamada *regla de la mano derecha de las bobinas*.

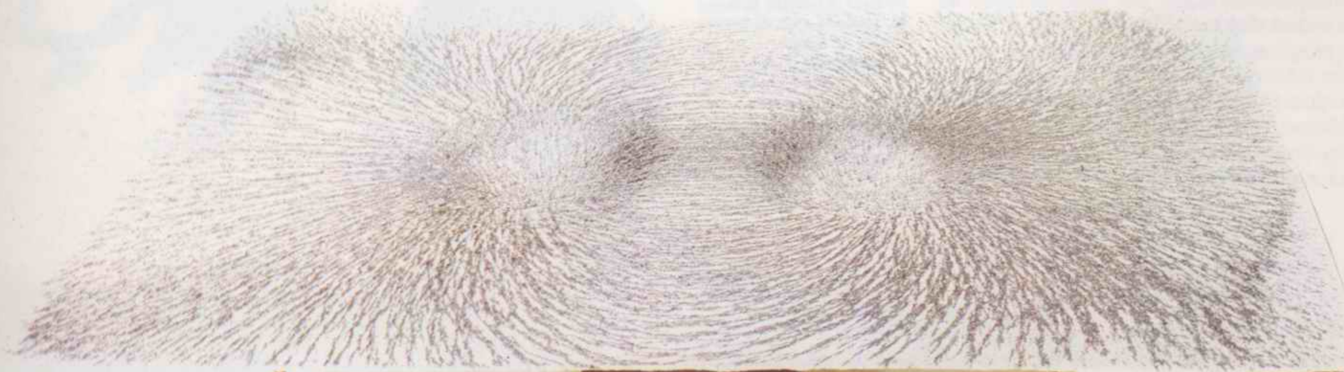
Desde el siglo XIX se sabe que la electricidad y el magnetismo son en realidad aspectos distintos de un mismo fenómeno, el *electromagnetismo*. Un ejemplo de cómo interaccionan los campos eléctricos y magnéticos lo constituyen las ondas electromagnéticas. Un campo magnético variable produce un campo eléctrico variable, y a su vez este campo eléctrico variable produce también un campo magnético variable, aunque no esté presente ningún cuerpo con propiedades magnéticas. Las microondas, las ondas de radio, las ondas luminosas y los rayos X son ondas electromagnéticas, que se diferencian porque tienen distintas frecuencias.

Véase **Brújula; Electromagnetismo; Magnetismo; Magnetosfera**





dispone a lo largo de líneas divergentes (foto superior izquierda). En cambio, poniendo debajo de una hoja de papel los polos opuestos de dos imanes, o de un imán en herradura, se verá cómo las líneas de fuerza del campo van con un cierto paralelismo de un polo a otro, ya que éstos son de distinto signo (foto del centro, a la izquierda). La estrecha unión entre campos magnéticos y eléctricos se puede demostrar utilizando una vez más limaduras de hierro: éstas se sitúan a lo largo de líneas bien definidas de acuerdo con el paso de la corriente por un hilo enrollado que forma un solenoide (arriba a la izquierda) y una espira (arriba a la derecha). Estas líneas correspondena las del campo magnético creado por la corriente.



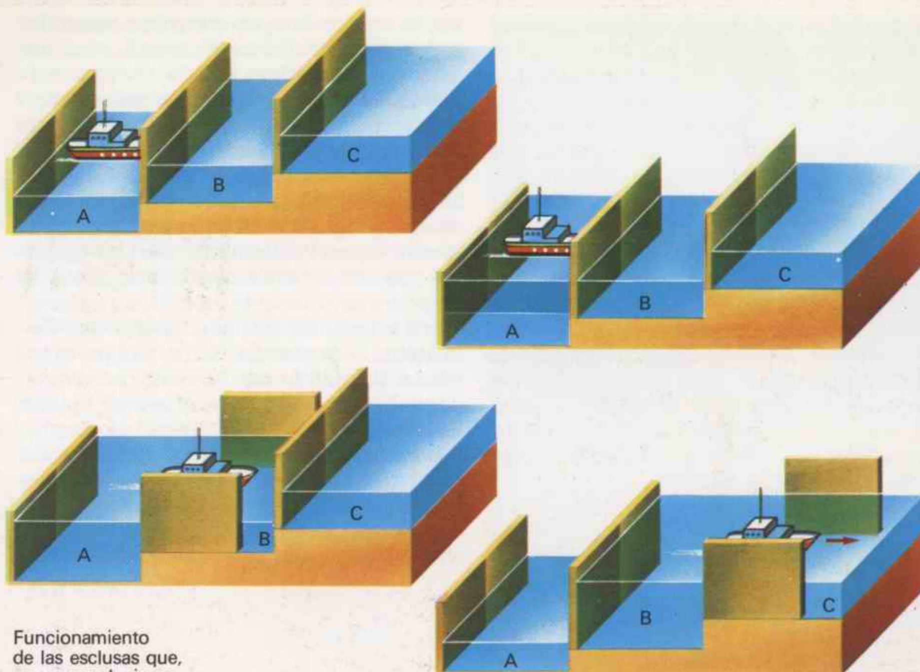


Canal

La Tierra en estado natural no tiene generalmente una configuración adecuada a las necesidades humanas. En particular, la distribución de aguas y tierras sobre la superficie del planeta plantea dificultades a la navegación de altura.

El atajo más famoso de la Historia En el pasado, por ejemplo, una nave que iba de Nueva York a San Francisco debía doblar todo el subcontinente de América del Sur porque no existía un recorrido más corto para pasar del océano Atlántico al Pacífico. El problema principal lo constituía la existencia de una franja de tierra relativamente estrecha (48-192 km), llamada istmo de Panamá, que separaba los dos grandes océanos y convertía por este motivo el viaje en un recorrido 12.800 km más largo de lo que habría podido ser.

El problema fue resuelto con la construcción de un enorme canal a través del istmo, que tomó el nombre de *canal de Panamá*. Inaugurado en agosto de 1914, es todavía, muchos decenios después, el canal navegable más utilizado del mundo: cada año es atravesado por alrededor de 13.000 naves, que así pasan en poco tiempo del océano Atlántico al Pacífico y viceversa.



Funcionamiento de las esclusas que, en un canal, sirven para permitir a las naves superar los desniveles existentes entre dos masas de agua. En la parte superior, la nave se encuentra en A) y debe subir a la esclusa B). Mientras la B) está cerrada se bombea el agua a A) hasta que el nivel en esta esclusa es igual al de B). En este momento la compuerta entre las dos esclusas se abre y la nave pasa a B). Se vuelve a cerrar la compuerta y se bombea el agua en la esclusa B) hasta que el desnivel con el agua de C) se anule. Entonces se abre la compuerta entre B) y C) y la nave se desplaza a C) que, estando al nivel del canal, le permite continuar.

Uso de las esclusas Un canal debe tener la suficiente profundidad (calado) para garantizar el paso de barcos en cualquier estado de carga. Las esclusas se emplean en canales que necesitan tener distintos niveles de agua y consisten en espacios rectangulares limitados con compuertas en sus dos extremos, que constituyen embalses a diferentes cotas. El mecanismo para transferir un elemento flotante de un nivel a otro es bastante simple. Una vez aquél dentro, se cierra la esclusa y el nivel se aumenta o disminuye hasta ponerlo a la par con la esclusa adyacente. El elemento flotante puede así pasar a otra esclusa donde el nivel se volverá a aumentar o disminuir.

Canales navegables El canal de Panamá o el de Suez, que unen dos océanos, son ejemplos de canales navegables. Este tipo de canal puede unir masas de agua similares o diversas, por ejemplo: dos lagos o dos ríos o un río y un lago. A veces los canales navegables sirven de unión entre océanos y puertos interiores. Algunos ríos, como el Mississippi, en Estados Unidos, o el Rin en Alemania, han sido canalizados. Los tramos navegables están unidos entre sí, para evitar cascadas, rápidos, zonas poco profundas y otros posibles riesgos para la navegación.

Las orillas y el fondo de los canales pueden estar o no revestidos. Los revestimientos reducen la pérdida de agua por infiltración en el terreno y disminuyen los gastos para la eliminación de la vegetación. Los revestimientos pueden ser de hormigón en masa o armado, de piedra, mortero de cemento, ladrillos, asfalto, membrana plástica o terreno compactado.

Canales de riego Los canales de riego se encuentran entre los destinados al



ICP

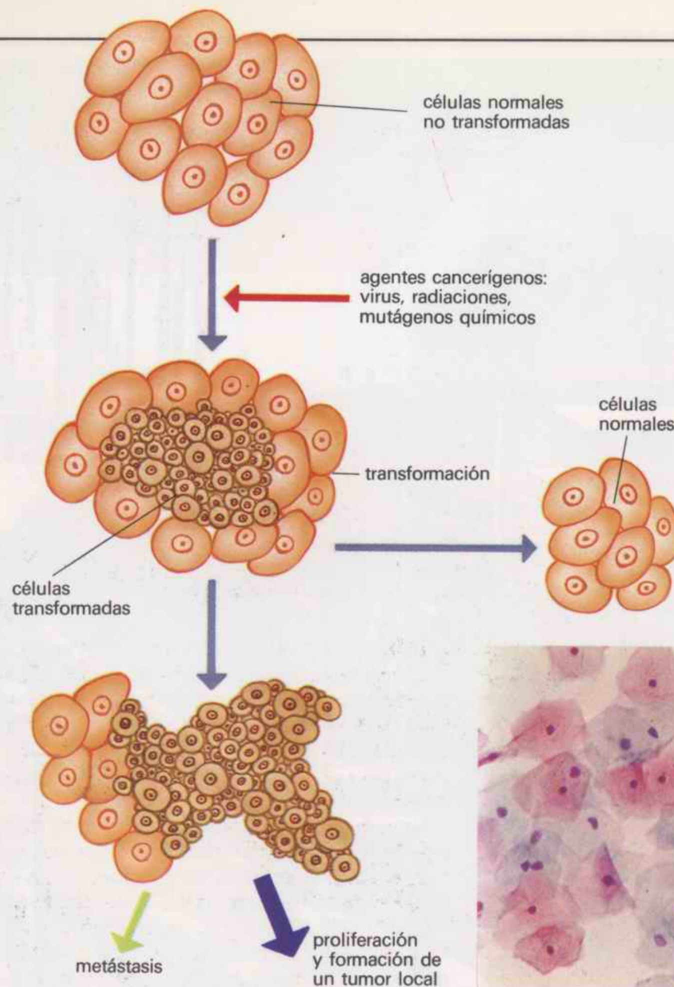


A la izquierda, un mapa del trazado del canal de Panamá, el paso que más acorta los recorridos marítimos entre océanos. El círculo con una flecha indica la posición exacta del istmo que une los dos subcontinentes americanos. En la parte inferior, perfil longitudinal del canal, que define la posición de las tres esclusas para subir o bajar entre el Atlántico y el Pacífico. Arriba, vista de las grandes esclusas con algunas naves en espera de paso. El canal, construido en su época con una concepción grandiosa, resulta hoy pequeño para las grandes naves.

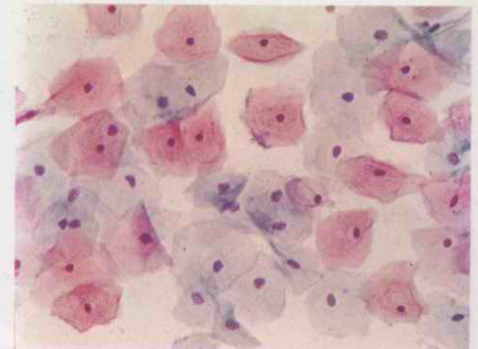
transporte de agua, teniendo como fin el suministrar agua a los terrenos con cultivos que requieren aportes adicionales al agua de lluvia. Normalmente estos canales se hallan en las zonas dominadas por los embalses situados en los cauces de los ríos. Pero, a veces, puede resultar rentable trasvasar agua de una cuenca a otra que tenga déficit de agua, pero cuyas tierras son de gran fertilidad en potencia. Este es el caso en España del trasvase Tajo-Segura, que ha requerido canales y otras obras de ingeniería de gran envergadura. La toma de agua del canal regula el caudal circulante y reduce las partículas de arena y otros materiales que se incorporan al flujo.

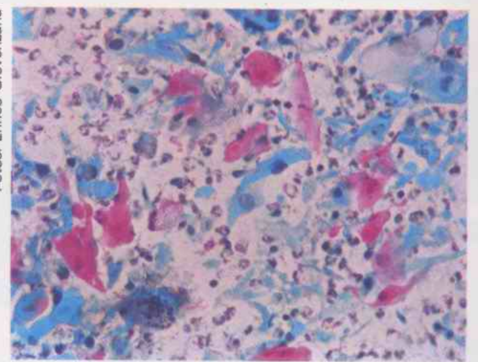
Otros canales sirven para abastecer de agua a poblaciones, como aliviaderos del exceso de agua de los embalses y para crear saltos de agua destinados a la producción de energía eléctrica.

El cáncer constituye en nuestros días una de las enfermedades más temidas y es, sin duda, causa importantísima de morbilidad y mortalidad. En realidad, el cáncer no es una enfermedad única, sino más bien un conjunto de procesos patológicos malignos que pueden surgir a partir de cualquier tejido de nuestro organismo. Se denomina *tumor* o *neoplasia* a una masa anormal de tejido cuyo crecimiento excede y no está coordinado con respecto a los demás tejidos. Todos los tumores se originan a partir de una proliferación anormal o excesiva de una célula que deriva de un tejido previamente normal. Los tumores, según su comportamiento, pueden ser benignos o malignos. El término *cáncer* se aplica únicamente a este último tipo de tumores, cuya presencia puede poner en peligro la vida del paciente que lo sufre.



La esencia del cáncer está en la transformación a nivel celular, que puede ser explicada mediante la acción de los agentes cancerígenos presentes en el ambiente, en particular de origen químico o radiactivo, o también de origen biológico, como en el caso de algunos virus. Pero no desemboca totalmente en un tumor, ya que puede ser interrumpido en su comienzo por las reacciones del sistema inmunológico del organismo: en ese caso se asiste a una regresión y a la desaparición de las células tumorales.





En las dos fotografías se pueden observar las diferencias entre una imagen citológica normal y una imagen citológica patológica con el diagnóstico de cáncer. En el primer caso pueden verse células del epitelio vaginal con formas homogéneas parecidas a pequeñas escamas. El núcleo es pequeño y la relación núcleo-citoplasma es baja. En el segundo caso, fotografía inferior, las células del epitelio vaginal tienen un aspecto heterogéneo: algunas poseen una apariencia globosa, otras tienen aspecto fusiforme, y la relación núcleo-citoplasma es mucho más alta por el incremento de las dimensiones del núcleo. Las microfotografías se han realizado con luz transmitida, mil aumentos y coloración de Papanicolau.

Fotos: Enrico Giovenzana

Causas del cáncer El proceso de transformación de una célula normal en una célula cancerosa se denomina *carcinogénesis*, y los agentes que originan esta transformación se llaman *carcinógenos*. En nuestros días se conocen multitud de agentes carcinógenos y, sin embargo, la causa fundamental del cáncer, es decir, los mecanismos por los que esos agentes provocan la transformación neoplásica, permanece aún desconocida. No podemos afirmar, pues, que se haya resuelto en la actualidad el problema de la causa del cáncer.

Los factores que influyen en la carcinogénesis pueden ser clasificados de la siguiente manera:

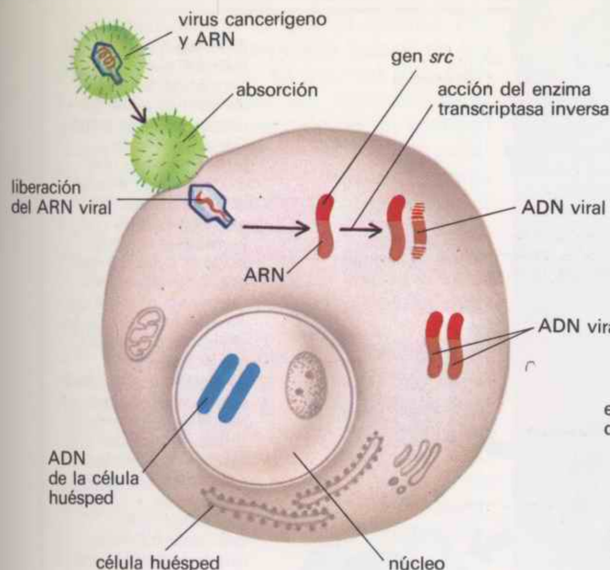
1. *Factores de origen genético*. Algunos cánceres humanos se caracterizan por su aparición en determinadas familias. Ello es debido a una anomalía genética que puede transmitirse de generación en generación. Tal es el caso, por ejemplo, de la poliposis colónica familiar, una enfermedad en la que los individuos afectos, sin que sea posible evitarlo, desarrollan un cáncer de colon en una edad temprana. Otros ejemplos de transmisión hereditaria de genes tumorales lo constituyen ciertos cánceres de la piel y del ojo.

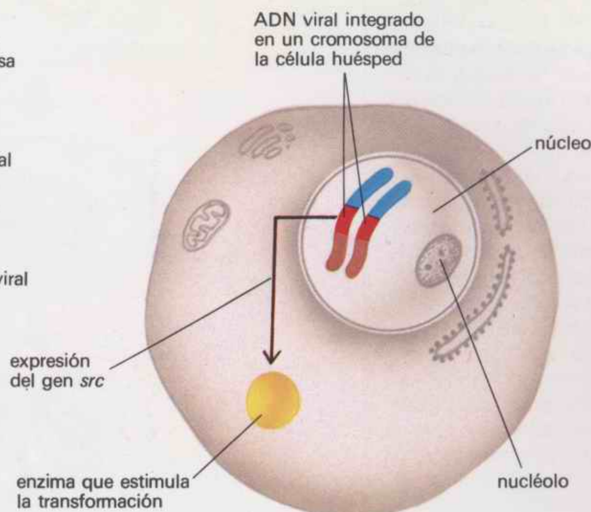
2. *Factores ambientales*. El ambiente que rodea al individuo también es un factor importante en el desarrollo de ciertos cánceres. La frecuencia de éstos varía según los países y, dentro de un país, se ve afectada por factores como la luz solar, el clima, la radiactividad natural e industrial, la contaminación atmosférica, la composición de las aguas, etc. La dieta, tanto en lo que se refiere a su composición, como a los métodos de preparación de los alimentos, también influye. Ciertos trabajos se asocian a algunos tumores, como es el caso del cáncer de escroto que en otro tiempo era frecuente en los limpiadores de chimeneas de Londres.

3. *Agentes químicos*. Existen muchos productos químicos con capacidad para inducir el desarrollo de distintos tumores. Se sabe, por ejemplo, que la aflatoxina, un producto derivado de un hongo, los tintes azoicos y el cloruro de vinilo producen cáncer de hígado. Algunas sustancias del tipo de los hidrocarburos aromáticos pueden originar cáncer de pulmón y cánceres renales. El arsénico y el cromo también están implicados en la producción de cáncer de pulmón. En ese sentido conviene destacar la importancia que tiene el humo del tabaco. Las sustancias originadas en la combustión del cigarrillo, comúnmente denominadas "alquitrán del tabaco", se relacionan muy directamente con la producción de cánceres de pulmón, laringe e incluso de vejiga urinaria.

4. *Agentes físicos*. Las radiaciones ionizantes, como son los rayos X, alfa, beta y gamma, y los rayos ultravioleta pueden producir cáncer por liberación de energía a su paso por los tejidos, dando lugar a alteraciones en las moléculas que constituyen las células, principalmente los ácidos nucleicos. La irritación crónica y los traumatismos repetidos, así como las cicatrices de heridas o quemaduras, son otros factores que, mantenidos durante mucho tiempo, pueden originar cánceres.

5. *Hormonas y virus*. Las hormonas son sustancias químicas reguladoras de algunas funciones orgánicas que, a veces, se ven implicadas en el desarrollo de algunos tumores, como es el caso del cáncer de mama. Los virus, por su parte, pueden producir tumores muy variados. La verruga común del hombre es un ejemplo típico de tumor benigno producido por virus. Pero estos agentes infecciosos también son, muy probablemente, la causa desencadenante de algunas leucemias y linfomas, tanto en animales como en la especie humana.





Al lado, un modelo de cancerogénesis vírica: el virus libera en el citoplasma un gen *src*, responsable de la transformación. El ARN es transcrito por el ADN celular en un ADN viral que penetrando en el núcleo permite al gen *src* expresarse. Abajo, cancerogénesis química: genes de un enzima potencialmente responsable de la transformación y cuya actividad está impedida por un represor enzimático. Si esos genes son afectados por una mutación, el represor no se produce y el enzima puede manifestar su potencialidad cancerígena.

Células y cáncer Los múltiples estudios sobre las causas de los tumores no han dado una clara respuesta a la cuestión de los mecanismos implicados en la transformación de una célula normal en cancerosa. No obstante, podemos afirmar que el proceso de desarrollo del cáncer implica una mutación, es decir, un cambio en la estructura genética celular. Ese cambio genético conlleva una pérdida de los caracteres específicos que posee la célula en condiciones normales. La célula se transforma a un estado en el que ha perdido su freno y experimenta un crecimiento demasiado acelerado. Esa pérdida de la diferenciación celular es la responsable del crecimiento desordenado y de la invasión de los tejidos normales con multiplicación celular normal. Existe, por lo tanto, una competencia entre las células tumorales y las células no tumorales, siendo las células cancerosas más resistentes a algunos agentes nocivos que las células normales.

Tipos de cáncer Los tumores malignos, o cánceres, presentan una amplia variedad que depende de los distintos tejidos del organismo en los que han tenido origen. Prácticamente cada tipo específico de tejido puede dar origen a uno o varios cánceres; por ello, la clasificación más adecuada de los tumores malignos es la que tiene en cuenta el tejido en el cual se han originado. Los cánceres, por lo tanto, pueden clasificarse de la siguiente manera:

1. *Cánceres originados en los tejidos epiteliales*. Este tipo de tumores se denominan genéricamente *carcinomas* y pueden ser de dos tipos: *carcinomas escamosos* y *adenocarcinomas*. Los carcinomas son los tumores malignos más frecuentes de la especie humana, y entre ellos se encuentran algunos cánceres tan importantes por su alta incidencia como el cáncer de mama, de pulmón, de estómago, de colon, etcétera.

2. *Cánceres originados en los tejidos conjuntivos*, también llamados *sarcomas*. Comprenden distintas variedades, entre las que se encuentran: los *fibrosarcomas*, derivados de unas células denominadas fibroblastos; los *liposarcomas*, derivados del tejido adiposo o graso; los *osteosarcomas* y los *condrosarcomas*, que tienen su origen, respectivamente, en los huesos y en los cartílagos.

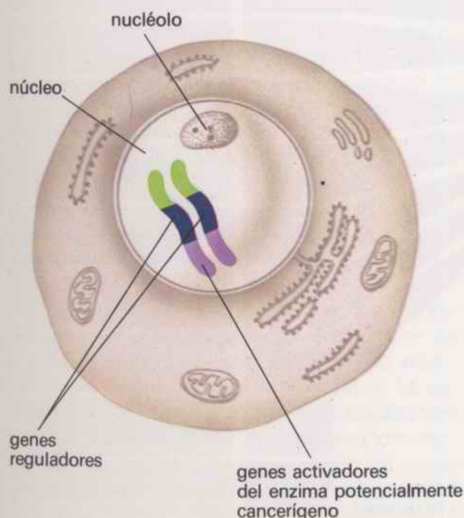
3. *Cánceres originados en los vasos sanguíneos y linfáticos*. Según que tengan sus células originales en uno u otro tipo de esos vasos, reciben el nombre de *hemangioendeteliomas* y *linfagiosarcomas* respectivamente.

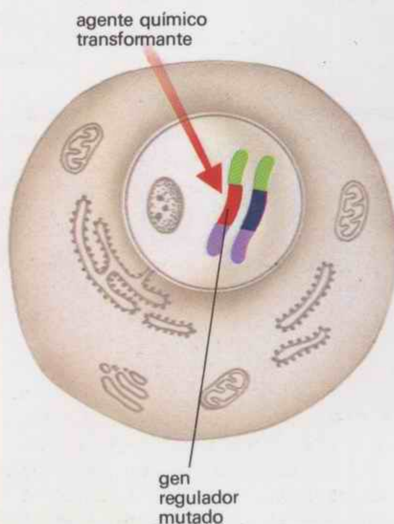
4. *Cánceres originados en el sistema nervioso*. Entre ellos destaca, por su gran agresividad, el glioblastoma multiforme.

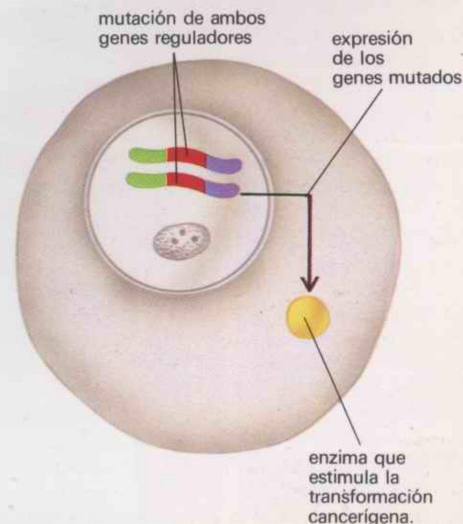
5. *Cánceres originados en el tejido hematopoyético*. El tejido, que en condiciones normales desempeña la función de aportar a la circulación las células que constituyen la sangre, puede dar lugar también a una serie de tumores de gran malignidad, como son las *leucemias*, los *linfomas* y los *mielomas*.

6. *Cánceres originados en otros tejidos*. Entre ellos destacan los *melanomas* malignos, que tienen su origen en la piel, y los tumores malignos que afectan a las gónadas, que pueden adoptar distintos aspectos histológicos.

Comportamiento de los cánceres Una característica importante en todo tipo de tumores es su tasa de crecimiento, esto es, la velocidad con que sus células se multiplican. En general, los tumores malignos suelen manifestarse por un crecimiento





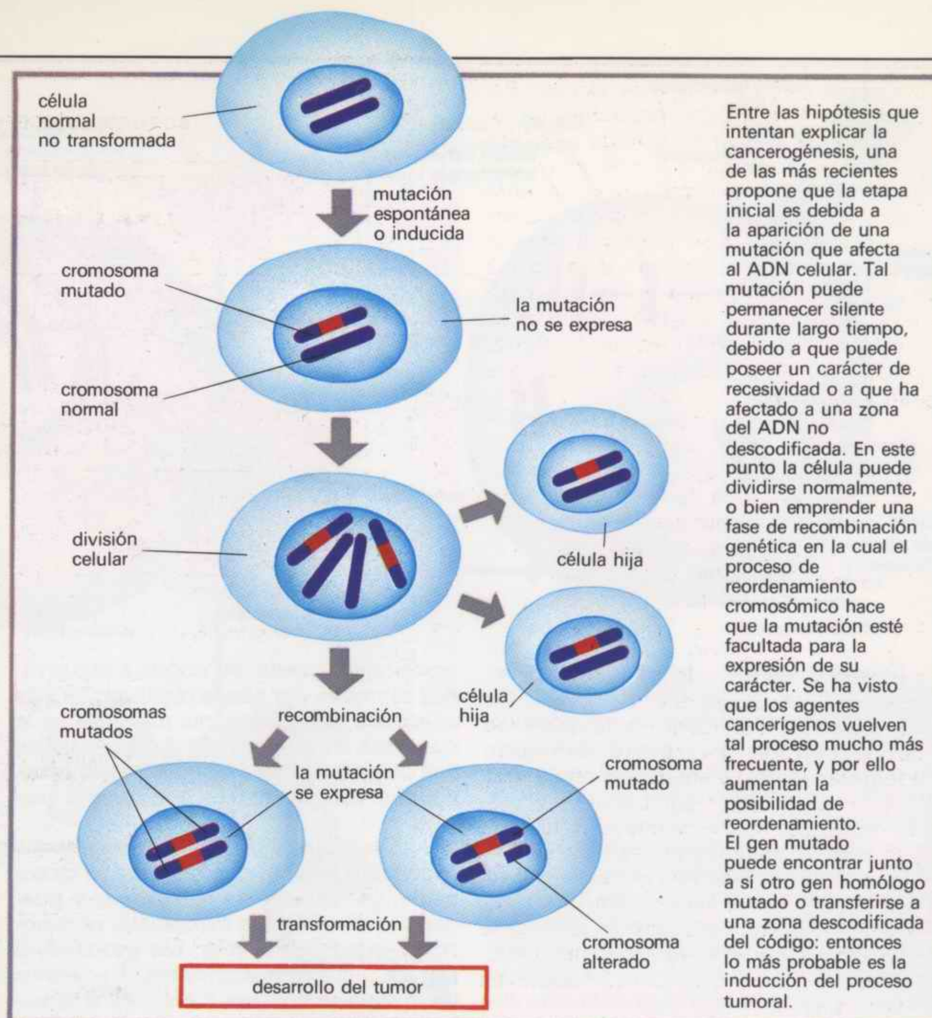


mucho más rápido que los benignos. Ello no es más que la expresión de los fenómenos que ocurren a nivel celular, ya que en los tumores malignos el índice mitótico, es decir, el número de mitosis o divisiones celulares que ocurren en un tejido, es muy superior al de un tejido normal.

Una segunda característica fundamental de los cánceres la constituye la capacidad que tienen sus células para proliferar desordenadamente, invadiendo zonas distintas al tejido de partida. La diseminación cancerosa puede ser de tipo local (un tumor esofágico puede extenderse hacia abajo e invadir el estómago) o a distancia (ese mismo tumor puede difundirse por la sangre y llegar a un hueso de una pierna, por ejemplo). Este último tipo de diseminación es quizá la característica que mejor evidencia el comportamiento de los cánceres. La diseminación a distancia recibe el nombre de *metástasis*, y diferencia claramente los tumores malignos de los benignos, ya que sólo los primeros son capaces de producir metástasis y difundirse por todo el organismo. Las metástasis pueden seguir dos vías fundamentales: una de ellas es la linfática, esto es, a través de los vasos linfáticos que existen en todos los tejidos; la otra vía es la sanguínea, por invasión de los pequeños capilares sanguíneos que llevan los elementos nutritivos a las células.

La diferenciación puede definirse como el grado de parecido de un tumor con su tejido de origen. Por lo general los cánceres tienen una apariencia muy diferente del tejido que les dio origen, por ello se dice que son muy indiferenciados.

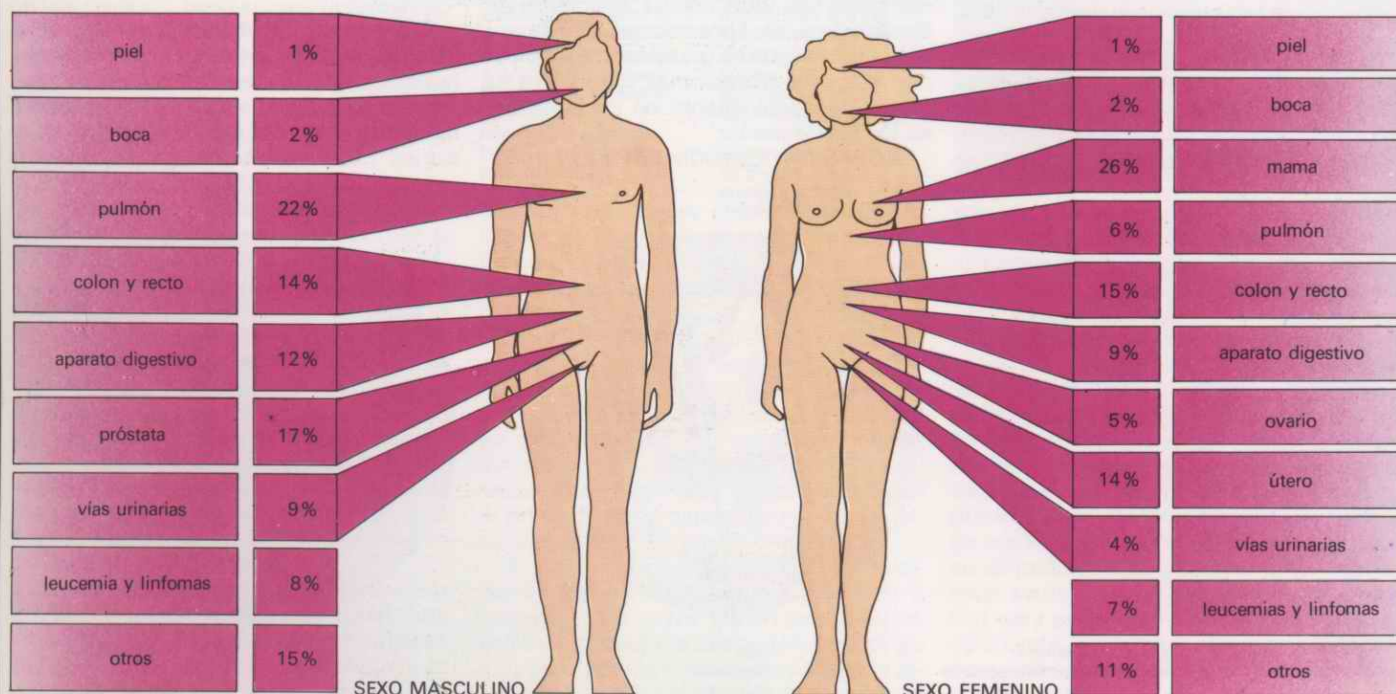
En resumen, podemos afirmar que el comportamiento de los tumores malignos se caracteriza por su crecimiento rápido, una escasa diferenciación, un alto índice mitótico y la producción de metástasis o diseminaciones a distancia.



Entre las hipótesis que intentan explicar la cancerogénesis, una de las más recientes propone que la etapa inicial es debida a la aparición de una mutación que afecta al ADN celular. Tal mutación puede permanecer silente durante largo tiempo, debido a que puede poseer un carácter de recesividad o a que ha afectado a una zona del ADN no descodificada. En este punto la célula puede dividirse normalmente, o bien emprender una fase de recombinación genética en la cual el proceso de reordenamiento cromosómico hace que la mutación esté facultada para la expresión de su carácter. Se ha visto que los agentes cancerígenos vuelven tal proceso mucho más frecuente, y por ello aumentan la posibilidad de reordenamiento. El gen mutado puede encontrar junto a sí otro gen homólogo mutado o transferirse a una zona descodificada del código: entonces lo más probable es la inducción del proceso tumoral.

Consecuencias del cáncer El desarrollo de un cáncer en un punto del organismo da lugar a la producción de una serie de manifestaciones clínicas muy diferentes, que dependen en primer lugar del tipo de tumor y sus características de crecimiento, y, en segundo lugar, del punto

INCIDENCIA PORCENTUAL DEL CANCER SEGUN LA LOCALIZACION Y EL SEXO



del organismo en el que se asiente. Por esa razón parece impropio hablar de los síntomas del cáncer en general; más bien pueden describirse las consecuencias que ocasiona el desarrollo de un proceso tumoral en el organismo. Estas consecuencias son de tipo local y de tipo general.

Localmente el cáncer puede comprimir vasos (arterias y venas), nervios, conductos y órganos. Esto ocurre tanto en los tumores malignos como en los benignos; pero los tumores malignos, además, infiltran y destruyen las estructuras y tienen una especial capacidad para producir obstrucciones (por ejemplo: del intestino, riñones, bronquios, etc.). Por otra parte, la sustitución excesiva de un órgano por tejido tumoral disminuye su función y esto puede dar origen a síntomas propios de la insuficiencia de ese órgano (por ejemplo: insuficiencia hepática, renal, respiratoria, u otras).

Pero los síntomas locales no son las únicas manifestaciones del cáncer. Habitualmente, el estado general del enfermo se ve alterado por la aparición de debilidad, fiebre, pérdida del apetito, cansancio, adelgazamiento. La anemia es otra alteración que se observa con frecuencia; puede ser consecuencia de una hemorragia o infección de un tumor ulcerado o de afectación de la médula ósea por el propio tumor. Finalmente, el enfermo con cáncer ve disminuidas sus defensas orgánicas, lo que le hace susceptible a todo tipo de infecciones que son de difícil tratamiento en estos paciente.

Un tipo particular de síntomas originados por el cáncer lo constituyen las manifestaciones endocrinas que se ven en algunos tumores. En efecto, existen cánceres de ciertas glándulas endocrinas y de órganos no endocrinos que pueden producir grandes cantidades de hormonas que pasan a la circulación de la sangre y originan, en consecuencia, síntomas de hiperfunción hormonal.

Diagnóstico del cáncer La Medicina moderna cuenta con técnicas diagnósticas más que suficientes para detectar la presencia de tumores malignos en casi cualquier región del organismo. Como cabe imaginar, los procedimientos diagnósticos serán diferentes según el tipo de tumor y el lugar en donde se asiente, y su realización conlleva a veces la necesidad de recurrir a exploraciones muy especializadas. Sin embargo, también es posible la detección de ciertos tumores en estado avanzado mediante exploraciones y análisis más generales, como pueden ser radiografías simples de tórax y abdomen o análisis de sangre y orina.

En cualquier caso, el máximo interés reside en el descubrimiento del cáncer en los momentos más precoces de su desarrollo, ya que es entonces cuando la eficacia del tratamiento será máxima. Esto es lo que se denomina "diagnóstico precoz", y es el mejor método que existe en nuestros días para combatir esta enfermedad que de otro modo sería incurable.

AGENTES CANCERIGENOS PARA EL HOMBRE

	agentes y fuentes	órganos afectados
cancerogénesis física	radiaciones ionizantes (rayos X, radiactividad) (instrumentos médicos y científicos, centrales nucleares)	bronquios, piel, huesos
	luz ultravioleta (Sol)	piel
cancerogénesis química	hidrocarburos policíclicos: alquitrán (humo, industria química); escapes y vertidos (automóviles, industria); hollín (chimeneas, centrales térmicas)	piel, bronquios, vejiga
	bencidina, 2-naftalamina (barnices)	vejiga
	4-aminodifenil, 4-ditrodifenil (industria química)	vejiga
	benceno (industria química disolvente para barnices)	médula ósea
	cloruro de vinilo (industria química, materiales plásticos)	hígado
	aflatoxina (producida por un hongo de los cacahuetes)	hígado
	compuestos de níquel y cromo (industria química y metalúrgica)	pulmones, senos paranasales
	nueces de Betel (fruto masticable del Extremo Oriente)	mucosa oral
	productos de la pirólisis del triptófano y de la lisina (proteínas de la carne y del pescado preparados a la parrilla)	estómago

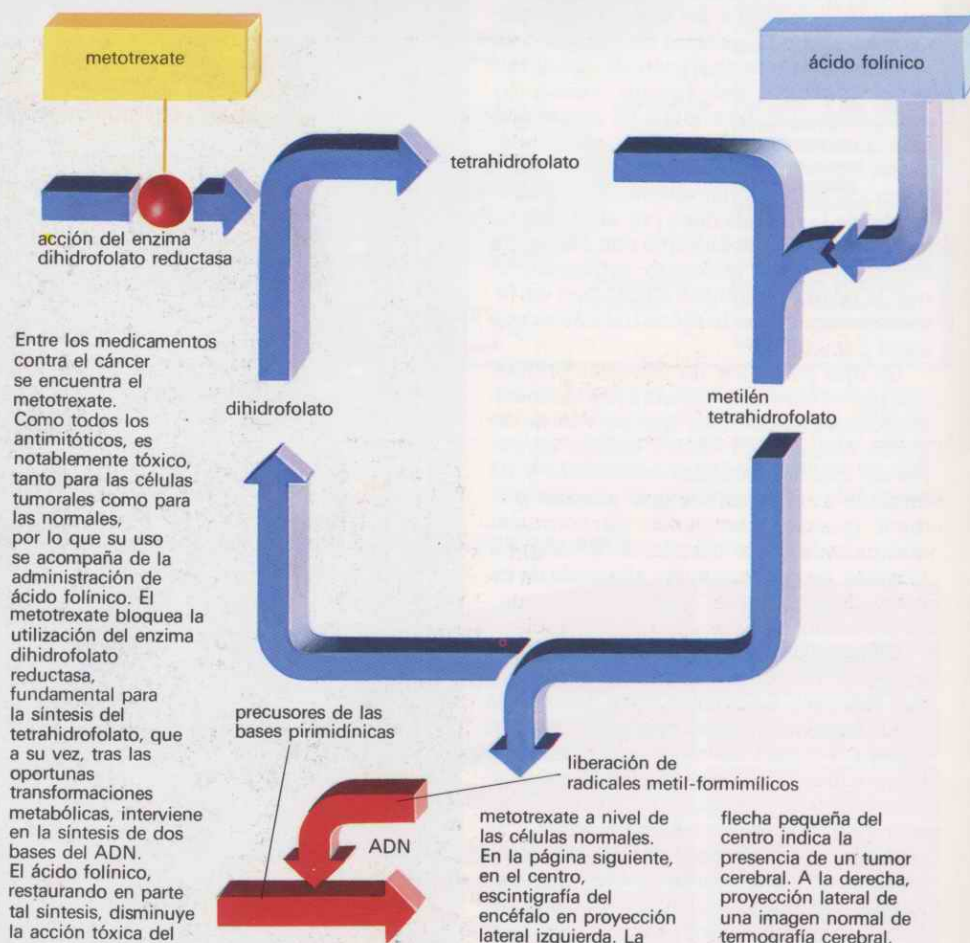




La termografía registra variaciones de temperatura de la superficie corporal y se utiliza para el diagnóstico precoz del cáncer. En la imagen más a la izquierda, realización de una termografía de contacto, y a su derecha, una imagen normal de una teletermografía de tórax. En la página siguiente, imagen teletermográfica de una neoplasia del lóbulo tiroideo derecho, con gradiente térmico de casi 2. En el centro, vista de metástasis tibial en imagen monocromática, y a su derecha, en colores, con gradiente térmico cercano a los 5 °C.

El diagnóstico precoz supone una realización de análisis y reconocimientos frecuente, con suficiente sensibilidad para detectar en sus momentos más iniciales el desarrollo de un proceso tumoral. Una de las técnicas de diagnóstico precoz más preconizada en la actualidad la constituye la citología vaginal. Consiste este procedimiento en el raspado de las paredes de la vagina y de la cara externa del cuello uterino con objeto de extraer las células descamadas que posteriormente son examinadas al microscopio. El estudio de estas células y su clasificación según los grados de Papanicolau resultan muy útiles en la detección precoz del cáncer de cuello uterino, de ahí que se recomiende la realización periódica de esta prueba en mujeres de cierta edad.

El diagnóstico precoz de otros tumores viene dado por el descubrimiento de ciertos síntomas llamativos y su exploración mediante algunas técnicas especializadas; por ejemplo, una tumoración mamaria requerirá inmediatamente la atención del médico que mediante una radiografía de la mama (mamografía) podrá dilucidar si se trata de un cáncer o de otro proceso fácilmente curable que no ponga en peligro la vida de la paciente.



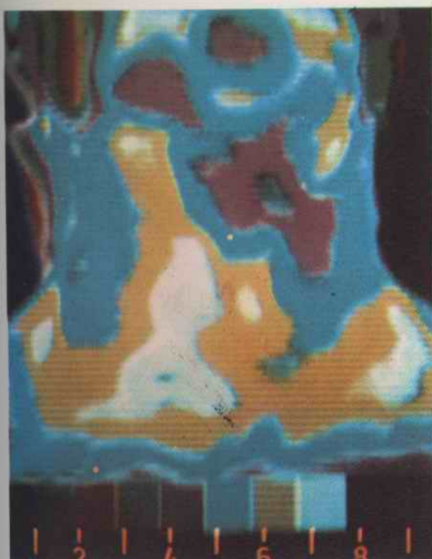
Entre los medicamentos contra el cáncer se encuentra el metotrexate. Como todos los antimitóticos, es notablemente tóxico, tanto para las células tumorales como para las normales, por lo que su uso se acompaña de la administración de ácido folínico. El metotrexate bloquea la utilización del enzima dihidrofolato reductasa, fundamental para la síntesis del tetrahidrofolato, que a su vez, tras las oportunas transformaciones metabólicas, interviene en la síntesis de dos bases del ADN. El ácido folínico, restaurando en parte tal síntesis, disminuye la acción tóxica del metotrexate a nivel de las células normales. En la página siguiente, en el centro, escintigrafía del encéfalo en proyección lateral izquierda. La flecha pequeña del centro indica la presencia de un tumor cerebral. A la derecha, proyección lateral de una imagen normal de termografía cerebral.

Tratamiento del cáncer Desgraciadamente, no se dispone aún de un tratamiento efectivo contra el cáncer avanzado. Existe, sin embargo, una multitud de agentes terapéuticos cuyos efectos no siempre llegan a la curación total que sería deseable. Las principales armas terapéuticas con que contamos son tres: la cirugía, la radioterapia y la quimioterapia.

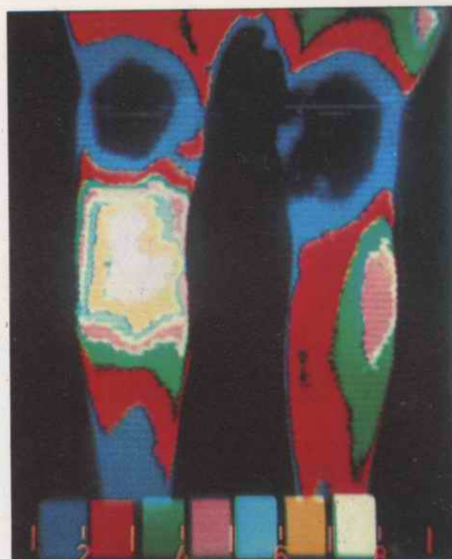
La *cirugía* está indicada principalmente en tumores benignos y en tumores malignos localizados. En el tratamiento del cáncer, el éxito de la intervención quirúrgica estriba en la extirpación total de las células cancerosas existentes en el organismo. Eso implica no sólo la exéresis de la zona tumoral, sino también, una extirpación de los ganglios linfáticos regionales de la zona donde se asiente el tumor.

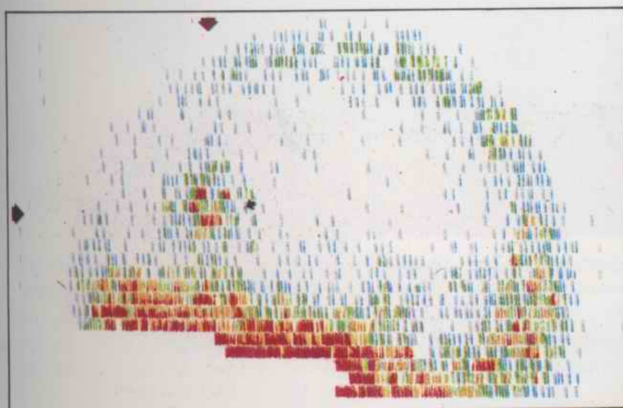
La extirpación total de órganos no vitales (como el estómago, esófago, colon, etc.) es una técnica que se va imponiendo en muchas clínicas del mundo. En algunos centros altamente especializados pueden hacerse también trasplantes de órganos enteros, como el hígado, pulmón, ambos riñones, que sustituyen al órgano extirpado por estar afectado por el cáncer. Los problemas que originan esos trasplantes son, en primer lugar, de tipo técnico (uniones vasculares) y, más tardíamente, de origen inmunológico, por el posible rechazo del órgano trasplantado.

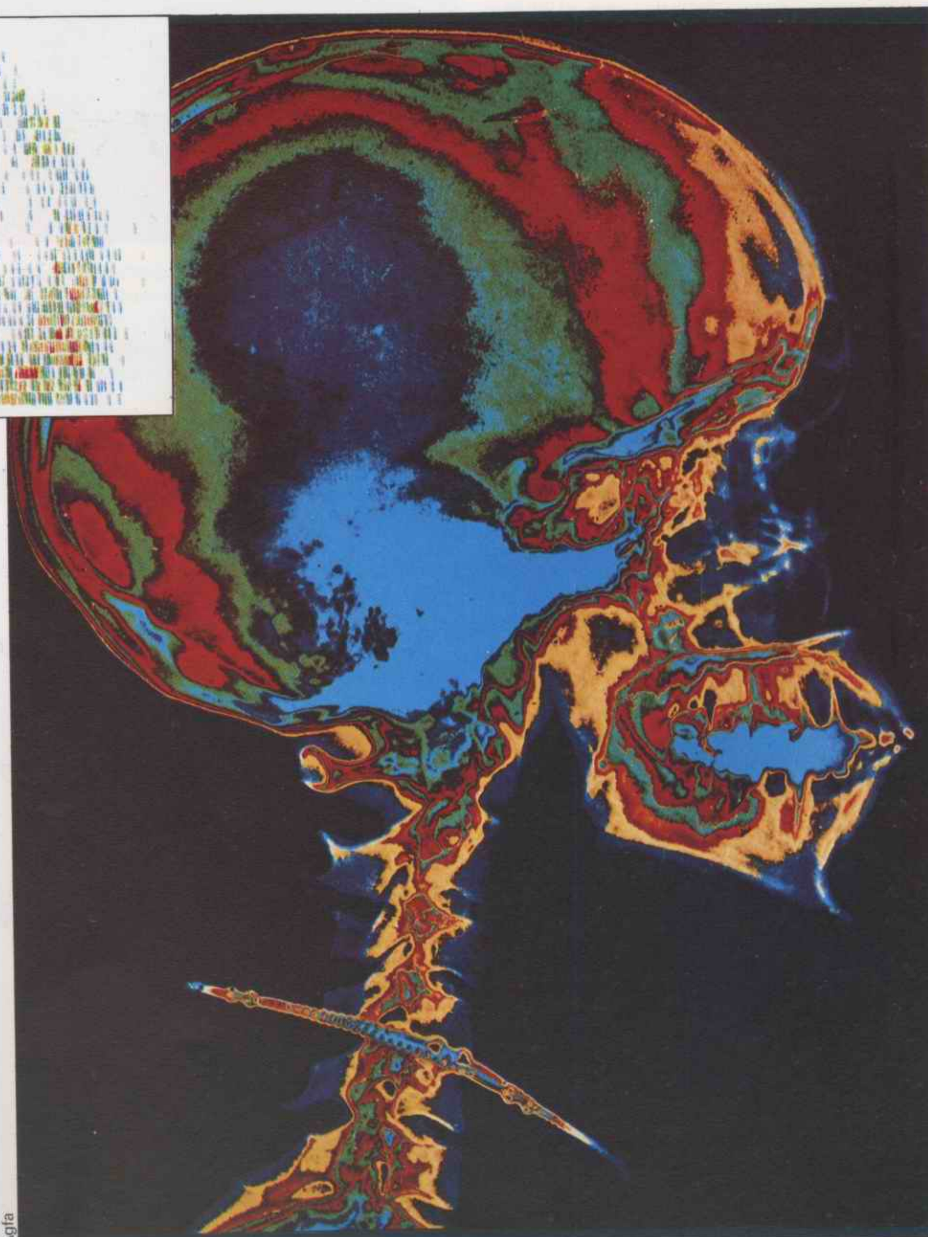
La *radioterapia* consiste en la irradiación de los tumores malignos mediante la utilización de los rayos X y de algunos isótopos radiactivos como el cobalto y el radio. Este procedimiento puede resultar curativo en ciertos cánceres y paliativo en otros casos que, por ser generalizados, no son susceptibles de someterse a una adecuada cirugía. La radioterapia persigue la destrucción de las células tumorales a tra-











vés de las lesiones causadas por las radiaciones ionizantes. Parte de su éxito depende de la radiosensibilidad del tumor irradiado. Es una técnica muy útil en el tratamiento de la enfermedad de Hodgkin, un tipo de linfoma maligno, y puede asociarse con cirugía y con quimioterapia.

La *quimioterapia* antitumoral consiste en el tratamiento del cáncer por medio de sustancias químicas. Se aplica también en casos en los que, por estar diseminada la enfermedad, la intervención quirúrgica no constituye un tratamiento adecuado. Tiene el inconveniente de su falta de selectividad (el producto es nocivo tanto para las células tumorales como para las normales), lo que origina problemas como pérdida del cabello, disminución de las funciones reproductoras, depresión de las defensas orgánicas y otros. La acción de los compuestos utilizados como quimioterápicos anticancerosos se basa en la interferencia con los procesos reproductivos celulares, impidiendo la multiplicación de las células. Uno de esos productos es el metotrexato, fármaco que impide la reproducción celular por interferencia con el matabolismo del ácido fólico.

Véase **Tomografía axial computerizada (TAC)**

Cantera

Algo tienen en común la catedral de la ciudad de México, el dique del Grand Coulee y el *David* de Miguel Angel. Todos ellos están hechos de piedra cortada o "sacada" de los depósitos naturales. Además, esas notables obras, junto a todas las construcciones, los monumentos, los diques, las estatuas y las carreteras de piedra que hay en todo el mundo, representan sólo el 1% de todas las piedras extraídas de las canteras. El restante 99% se tritura para usos industriales.

Tipos de canteras de roca Las rocas se dividen en tres categorías:

1) *sedimentarias*, formadas en el transcurso del tiempo por la erosión, el transporte y la deposición de fragmentos de otras rocas, por la acción de agentes como los ríos o el viento, por la disolución y la deposición por vía química de rocas preexistentes o por la deposición de restos de organismos vivientes tanto de grandes dimensiones como microscópicos;

2) *magmáticas*, formadas por el enfriamiento de materiales fundidos presentes en el interior de la Tierra;

3) *metamórficas*, que derivan de la transformación de las dos primeras por acción del calor o de la presión.

Muchas veces, las rocas sedimentarias se caracterizan por una subdivisión en capas que deriva de las condiciones en las que se ha producido la deposición. Esta característica facilita su extracción. Son muy comunes la caliza y la dolomía, que se emplean como piedra de construcción y para la preparación del cemento.

También la arenisca —que proviene de la litificación de antiguas arenas— es un material muy corriente y muy usado en las construcciones. La caliza tiene coloraciones que van desde el blanco hasta el marrón oscuro, pasando por el marrón rojizo y por el rojo.

El granito y el basalto son dos ejemplos de rocas magmáticas de construcción, junto con el mármol y otros esquistos que son piedras metamórficas. El granito es un material muy versátil y muchas veces se utiliza por sus variadas coloraciones: blanco, rosa, verde e incluso negro. Es duro, a menudo de granos gruesos, y se emplea mucho como piedra ornamental.

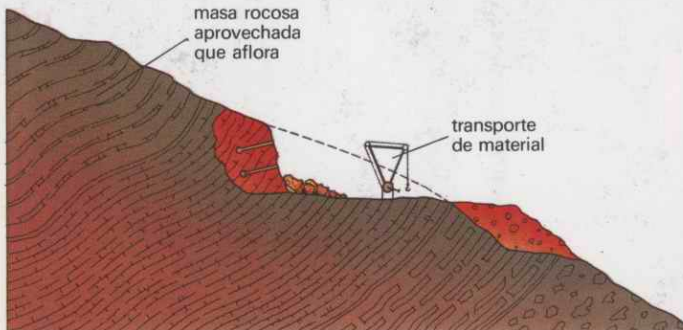
Otras piedras de gran dureza son el mármol, muy conocido por sus decorativas bandas de colores y muy apropiado para obras escultóricas, y la pizarra, empleada en la construcción de tejados.

La piedra puede usarse en forma de agregados para usos industriales, preparación de morteros u hormigón para construcción, y químicos, o en forma de piedra tallada. Esta última, llamada también *piedra de sillería*, es un bloque de roca natural al que se ha dado forma mediante herramientas.

Extracción Los métodos utilizados para extraer y cortar los grandes bloques de piedra varían según el tipo de material, el tamaño de la cantera y el fin a que es destinada la piedra.

Abajo, una pequeña cantera en la que la extracción del material (muchas veces, en estos casos, una piedra de construcción) se efectúa avanzando hacia el interior de la montaña. El material inservible y los fragmentos inutilizables se arrojan a la escombrera (a la derecha) a lo largo de la pendiente de la montaña. Debajo, depósito de material en forma de lentejón, en parte sepultado bajo rocas duras; mientras es posible se extrae el material que está al descubierto; después, por medio de pozos o removiendo un manto estéril, se extrae el sepultado.







Resulta difícil encontrar grandes trozos de material relativamente exentos de fisuras y que ofrezcan al mismo tiempo unas determinadas características en lo que se refiere al color o a la textura. En este tipo de extracción es importante conseguir que se conserven lo mejor posible la dimensión y la belleza natural de la piedra; en estos casos, por lo tanto, no se usan métodos extremos como los explosivos. El método usual consiste en cortar un gran bloque de piedra del lecho y reducirlo luego a bloques de las dimensiones requeridas, que se sacan después de la cantera por medio de árganas.

La primera y fundamental separación de la roca del lecho se hace con uno de los métodos siguientes:

1) *alesnado*. Tras preparar una hilera de agujeros de taladro, muy cerca unos de otros, se remueve el área entre los agujeros con instrumentos de brochado (demolición) hasta que se produce el corte;

2) *sierra de alambre*. Sobre unas poleas se mueven a modo de sierra cables formados por hilos metálicos de hasta 4.900 metros de largo y 5 mm de diámetro, que se lubrifican durante el funcionamiento mediante una mezcla de arena de minerales duros y de agua, para aumentar el efecto abrasivo. Los cortes de esos hilos metálicos avanzan en la roca a la velocidad de casi cinco centímetros a la hora;

3) *máquinas talladoras del mármol*. Se basan en la utilización de cinceles eléctricos con un movimiento cortante a lo largo de una línea de corte directamente sobre el lecho de la roca;

4) *corte en cuña*. Este método se utiliza para dividir enormes bloques de piedra en trozos más pequeños. La línea del corte se taladra, y se colocan en cada agujero unas barras entre las cuales se aplican las cuñas de acero que, golpeadas con un martillo, causan la rotura de la roca.

Los métodos de extracción de rocas en forma de aglomerados son muy diferentes. La primera parte de la operación con-



siste en taladrar en la roca una o dos filas de agujeros, —de hasta 30 metros de profundidad— en las grandes canteras. Los agujeros, que alcanzan una anchura de hasta 0,3 metros, se rellenan entonces con cargas explosivas. Los explosivos se hacen estallar simultáneamente, derramando así, por la superficie de la cantera, toneladas de rocas trituradas. Para romper los trozos más grandes se emplean cargas secundarias. Los trozos así obtenidos se cargan en un camión o sobre cintas transpor-

tadoras, y se llevan a las fábricas, en donde unas máquinas apropiadas los seleccionarán en base a su tamaño y al tipo de utilización.

Para obtener trozos más pequeños, o pulverizados, se usan máquinas que emplean una acción trituradora en quijada. Las piedras trituradas se utilizan para mezclar el hormigón y para la construcción de carreteras. Otro empleo de estas piedras es el de ingrediente en algunos procesos químicos y de refinería.

La caliza representa las tres cuartas partes de todas las rocas trituradas que se extraen; también se extraen basalto, granito y arenisca.

Véase **Autopistas y carreteras; Minería y técnicas mineras; Roca; Rocas eruptivas; Rocas metamórficas; Rocas sedimentarias**



En la foto de arriba, una cantera de mármol. La elevada calidad exigida en el material que se extrae en grandes bloques perfectos obliga a que la extracción se haga por métodos manuales a pesar de su tamaño. En la foto de la página anterior, una cantera de toba explotada con métodos bastante primitivos.

MINA A CIELO ABIERTO



Bajo estas líneas, fotografía de una cantera de piedra para construcción. En estas canteras los métodos de extracción son simples y primitivos; en algunos casos no diferen mucho de los que se utilizaban en la Antigüedad o de los que emplean los pueblos primitivos actuales, exceptuando el uso de explosivos.

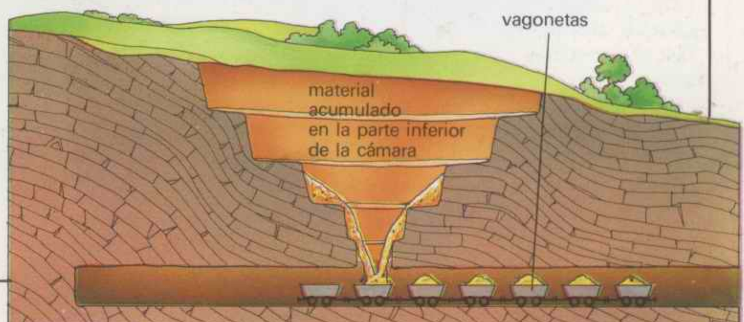
MINA A CIELO ABIERTO EN EMBUDO





En los tres dibujos de esta página, una cantera de la que se extrae una gran cantidad de materiales. Este tipo de explotación nada tiene que ver con las canteras de pequeñas dimensiones y de importancia local: el método se aplica a los casos en que afloran a la superficie grandes cantidades de mineral. El mineral, tanto si se presenta sobre la pendiente de un relieve como sobre un terreno llano, se ataca por excavadoras con fresas de movimiento circular. Estas necesitan un terreno llano, por lo que, en el caso de zonas en pendiente, se procede de manera que la excavación se haga en forma escalonada. Si el mineral está disgregado, se extrae directamente; si es compacto, se reduce a pequeños trozos con cargas explosivas. Arriba se representa una explotación a cielo abierto sobre el flanco de una pandiente. En la ilustración del centro se aprecia el embudo abierto a lo largo de la pendiente: el material se saca a través de una galería lateral. Por último, en el dibujo situado a la derecha de estas líneas, se ve otra mina a cielo abierto, en la que el mineral sale del fondo del embudo a través de una galería que desembocará al aire libre o en un pozo donde se tritura.

MINA A CIELO ABIERTO EN EMBUDO



Cañón y munición

Antes aun de David y Goliath, o sea, de la aparición de la honda, los hombres ya habían descubierto diversas maneras de luchar a distancia, lanzándose piedras, flechas, lanzas y otros objetos contundentes. Pero hasta el siglo XV no se planteó el problema del alcance y la precisión del tiro de los diversos proyectiles, ya se lanzaran con una cuerda tensa (como en el caso del arco y de las flechas), ya fuera producido el lanzamiento por la acción de un contrapeso (catapulta).

El curso de la historia del hombre cambió por completo precisamente en el siglo XV, en Europa. Se descubrieron las propiedades de la llamada "pólvora negra" (una mezcla de nitrato potásico, azufre y polvo de carbón) y se especuló sobre su utilización militar. La "pólvora negra", considerada como un explosivo "ligero", arde un poco como el cigarrillo, esto es, a ritmo constante, pero con mucha mayor rapidez, produciendo una cierta cantidad de gas a una presión suficiente como para hacer salir un proyectil de una boca con una velocidad aceptable.

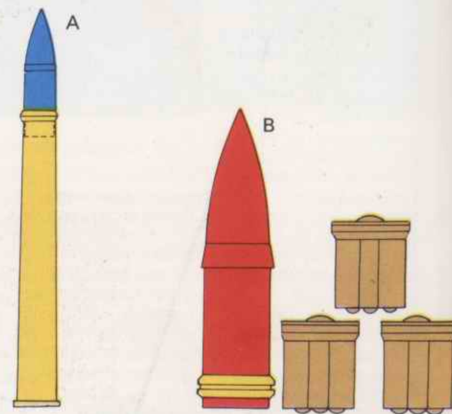
La "pólvora negra" fue sustituida, hacia finales del siglo XIX, por una mezcla explosiva desprovista prácticamente de humo: se trataba de una pólvora de disparo a base de nitrocelulosa y nitroglicerina, con un poder de deflagración bastante mayor que el de la llamada "pólvora negra".

Los cañones Hoy, todas las armas de fuego, desde el cañón de campaña a la pistola, funcionan según el mismo principio: un gas fuertemente comprimido (como el desarrollado por la deflagración de una carga explosiva) expele a gran velocidad un proyectil desde el interior de un tubo metálico.

El término "cañón" tiene una acepción bien concreta: se definen como tales todas aquellas armas de fuego que disparan proyectiles de un diámetro considerable y cuya trayectoria es "tensa". Entran en es-

En el esquema superior a la izquierda, la masa oscilante de un montaje doble Breda-Bofors de 40/70 mm. Se trata de un arma capaz de hacer 600 disparos por minuto y se emplea tanto en tierra como a bordo de buques para la defensa próxima antiaérea y antimisil. Sobre estas líneas, el mismo conjunto montado bajo torreta con depósito de municiones en su parte inferior, para su empleo inmediato con alimentación automática de las armas.

Arriba, sección de una torreta pareada Breda-Mauser de 30 mm, del tipo instalado en unidades navales. Las dos armas son completamente automáticas y pueden hacer 1.600 disparos por minuto. Un volumen de fuego tan notable favorece también su utilización en la defensa contra misiles, que son atacados en el último tramo de su trayectoria. En la página siguiente, pieza de campaña de grueso calibre. En primer plano un cañón de 155/45 mm en posición de disparo, y, en segundo plano, un obús autopropulsado de 203/25 mm tipo *M 55*.



Principales tipos de munición de cañón: A) de carga "simultánea", con proyectil unido a la vaina, utilizado en armas de pequeño y medio calibre; B) de carga "ordinaria", con cargas de proyección en saquetes de tela y proyectil separado, utilizado en grandes calibres; C) de carga "rápida", con carga en la vaina y proyectil separado, utilizado en calibres medios.

ta categoría los cañones de campaña, los antiaéreos, los navales, los contracarro. Obuses y morteros se diferencian de los cañones propiamente dichos por la trayectoria "curva" de los proyectiles que emplean.

Las partes principales del cañón son: el tubo, el "bloque de culata" y el "afuste". Al bloque de culata se fija el cierre, que permite la entrada del proyectil y de la carga de proyección y que, una vez cerrado, "sella" perfectamente el bloque de culata y el tubo dentro del cual el proyectil está preparado para ser lanzado. El "ánima" (o sea, el interior del tubo, cuyo diámetro se llama "calibre") está rayada, esto es, presenta un fileteado de trazado helicoidal. Este rayado del ánima tiene la finalidad de imprimir al proyectil que sale un movimiento de rotación sobre el propio eje longitudinal, que sirve para estabilizarlo a lo largo de la trayectoria evitando que pueda cabecear.

En general puede decirse que cuanto mayor es la longitud del tubo, mayor es la velocidad "inicial" del proyectil y más tensa es la trayectoria. En el caso de los obuses y morteros, que emplean tubos de reducida longitud e imprimen a sus proyectiles una trayectoria más curva, la velocidad del proyectil es mucho más reducida. Obuses y morteros se emplean generalmente contra objetivos inmóviles y bien protegidos.

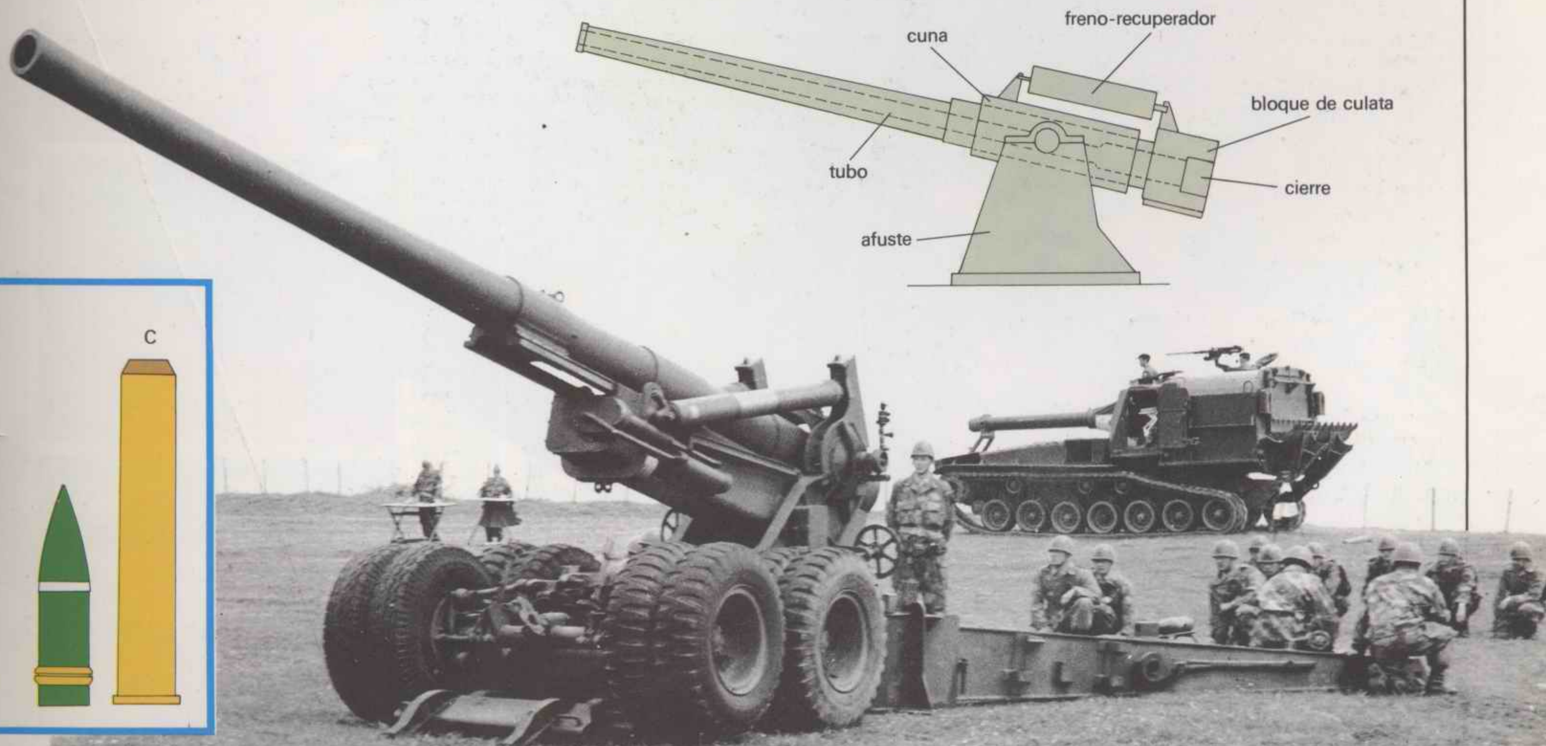
El "afuste" es el conjunto de estructuras que sirven para sostener y orientar la boca de fuego propiamente dicha (bloque de culata y tubo). Otros órganos importantes del cañón (y del obús) son: la "cuna", que es el elemento de unión entre el afuste y la boca de fuego y dentro del cual ésta se desliza en el movimiento de retroceso, y el "freno", mecanismo destinado a absorber y atenuar precisamente el retroceso del tubo en el momento del disparo. En general, los frenos de retroceso consisten en cilindros hidráulicos (o de aire comprimido) que se activan con el movimiento hacia atrás del tubo y que, con la acción sucesiva, lo llevan a la posición de disparo, o sea, hacia adelante. Por ello a tales órganos se les llama también "freno-recuperadores".

Las municiones Los proyectiles de los cañones se clasifican según su calibre (que corresponde evidentemente al calibre de la boca de fuego que lo utiliza) y según que se trate de proyectiles de energía química o de energía cinética.

Los de energía química tienen una cabeza explosiva (generalmente a base de TNT, o sea, de trinitrotolueno) que explosiona al contacto con el blanco; los de energía cinética están fundamentalmente constituidos por una masa inerte que causa daño al blanco simplemente en virtud de su peso y de la velocidad con que llega a aquél. Es el caso de las "balas de cañón" utilizadas desde el siglo XV al XIX.

Por lo que se refiere al calibre, se va desde los 30/40 mm de los cañones antiaéreos a los 75/90 mm de los anticarro, desde los 150 mm de los obuses y cañones de campaña a los 406 mm de los más difundidos gruesos calibres navales de la II Guerra Mundial. Generalmente, para todos los calibres por debajo de 150 mm, la munición se compone de dos partes: la vaina y el proyectil. Estos pueden ir separados o unidos (disparo o cartucho). La "vaina" es una envoltura metálica de forma cilíndrica que contiene la carga de lanzamiento del proyectil. En la extremidad posterior se encuentra el "cebo" (a base de fulminato de mercurio) que, al recibir el golpe del percutor del cierre del cañón, hace deflagrar la carga de lanzamiento existente en la vaina; tal rápida combustión provoca el movimiento del proyectil, que es impulsado hacia adelante por la enorme cantidad de gas desarrollada en la cámara de combustión del cañón. A su vez el "proyectil" tiene una cabeza explosiva protegida por una ojiva, proyectada para que penetre a gran velocidad en el aire y hacer al propio proyectil recorrer una adecuada trayectoria. En el caso de cañones de grueso calibre, la vaina se sustituye por una carga de lanzamiento más compleja y, en cualquier caso, separada del proyectil.

En el esquema se representan las partes principales de un cañón. Tubo, cuna, freno-recuperador, bloque de culta y cierre constituyen la masa oscilante, que unida al afuste integran la masa giratoria. Mientras la primera es el conjunto de los elementos que pueden moverse en sentido vertical girando alrededor de un eje horizontal (llamado *eje de muñones* por el nombre de los pernos que la unen al afuste), la segunda puede girar alrededor de un eje vertical que pasa por el centro del afuste.



Carbón

La crisis energética de los años setenta obligó a los gobiernos de los diferentes países a establecer un conjunto de estrategias, planes y objetivos que formaban su Plan Energético. Aunque estos planes variaban de unos países a otros según las peculiaridades de cada uno, había una serie de puntos básicos que coincidían, entre los cuales estaba la reactivación de la extracción y consumo de carbón.

Los depósitos de carbón se formaron a partir de los restos de grandes extensiones de bosques que cubrieron gran parte de la superficie del planeta hace millones de años. Debido a los acontecimientos geológicos posteriores, esas masas de vegetación quedaron sepultadas bajo la presión de grandes cantidades de rocas que fue transformando la madera de aquellos bosques en el actual carbón. Los yacimientos así formados permanecieron inalterados hasta que el hombre descubrió la manera de utilizarlos.

El carbón fue protagonista indiscutido de la Revolución Industrial, convirtiéndose en el combustible indispensable de la maquinaria industrial, la tracción ferroviaria, la propulsión de los barcos y la iluminación de las ciudades.

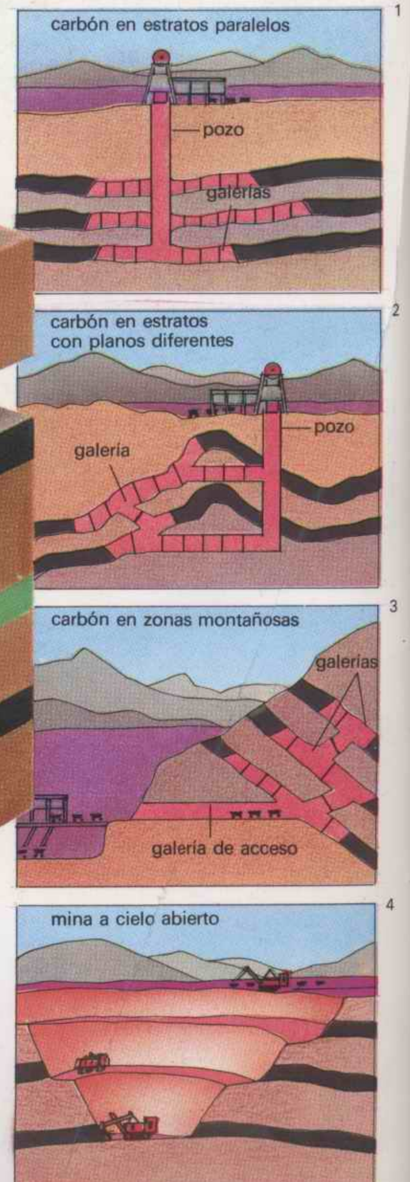
En 1910 la energía total consumida en el mundo procedía en un 91% del carbón, del que la producción mundial anual era de casi 1.200 millones de toneladas: el principal exportador y productor era Gran Bretaña, que en 1913 producía más de 100 millones de toneladas.

Posteriormente la utilización del carbón experimentó una notable disminución, en especial a favor del petróleo, aunque en los últimos años el encarecimiento de éste ha hecho que se vuelva a considerar el carbón como una fuente energética primordial.

Origen y composición El carbón —después de la madera— es el combus-

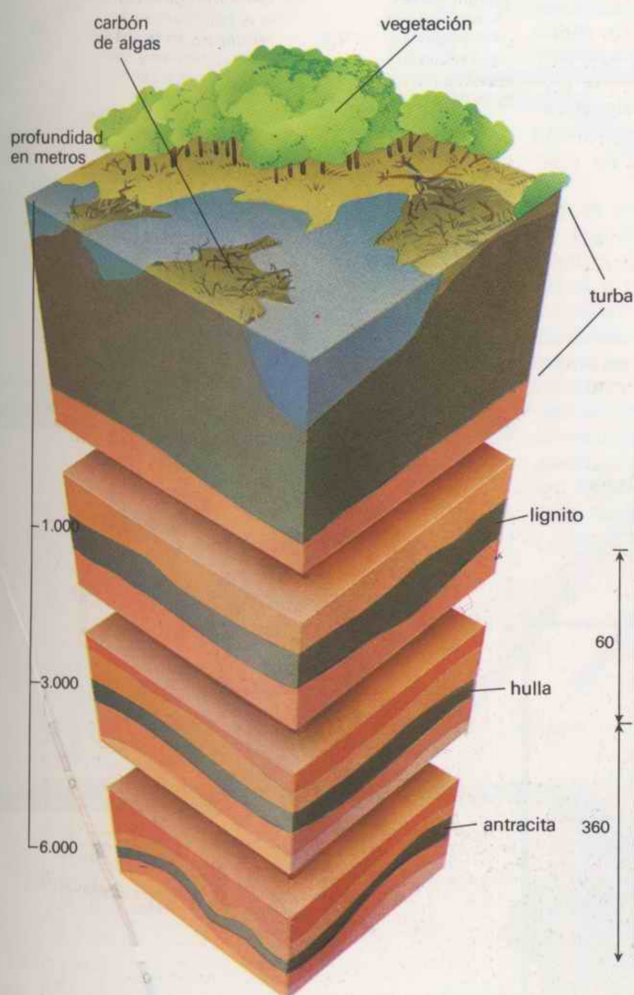
El esquema inferior izquierdo representa la sección de una mina de carbón. Este puede haberse formado hace más de doscientos millones de años. Los carbones más antiguos —las antracitas y la hulla— se pueden encontrar sólo en minas, para cuya explotación es necesario excavar profundos pozos de los que parten después galerías. Los carbones recientes —los lignitos— son aquellos cuya formación se remonta a "sólo" cien millones de años, y que se encuentran en terrenos menos tectonizados, es decir, menos comprimidos, doblados y sobre todo bastante superficiales, susceptibles de ser explotados a cielo abierto. A la derecha aparece esquematizada la colocación de las galerías según el tipo de yacimiento: si está dispuesto en capas paralelas, las galerías partirán en abanico del pozo principal (1); si las capas están situadas en planos diferentes, las galerías serán tortuosas (2); si el yacimiento se encuentra en la ladera de una montaña, se excava una galería horizontal hasta alcanzar un filón (3); y finalmente, si se trata de una mina a cielo abierto, la extracción puede hacerse escalonadamente sin necesidad de excavar galerías (4).

mecanismos del montacargas
cargador de vagonetas en forma de embudo
transportador del mineral bruto
terrenos de cubierta
pozo vertical
excavador de fuerza rotante
puntales contra los derrumbamientos
zona estéril
pozo de bajada para la trituración
filones productivos
carga del elevador
transportadores semifijos

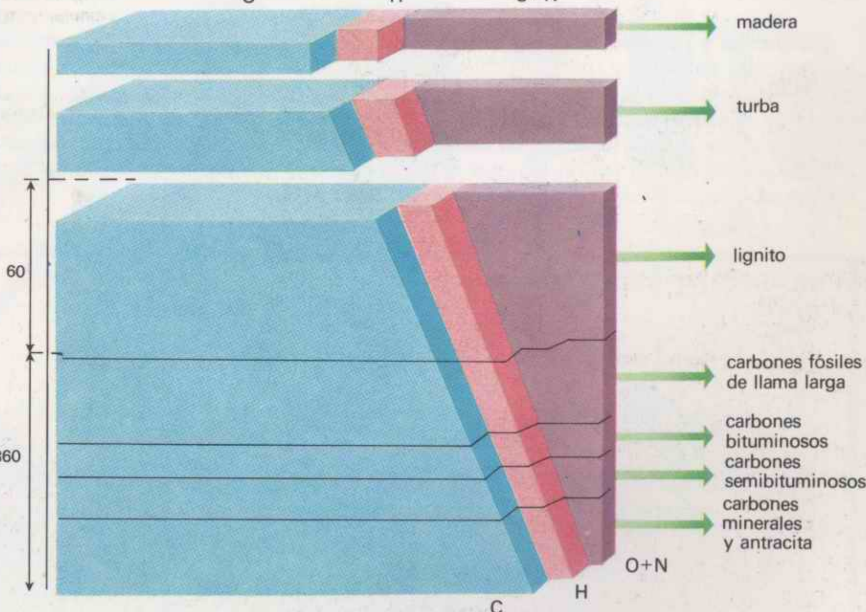


tible más antiguo utilizado por el hombre.

El clima existente durante las eras geológicas favorables a la formación del carbón era húmedo y cálido, típico de los ambientes pantanosos, condición necesaria para la descomposición de la materia orgánica vegetal y su transformación en carbón. La mayor parte del carbón que actualmente se explota en la zona oriental de Norteamérica y en Europa Occidental se ha formado durante el período Carbonífero, aunque algunos tipos pertenecen a períodos más antiguos o más recientes (Australia, Sudáfrica).



A la izquierda, esquema de un corte imaginario del subsuelo terrestre para poner en evidencia el proceso de formación del carbón. Una primera parte de dicho proceso consiste en la parcial oxidación, bajo el agua, de tejidos vegetales hasta la formación de un depósito orgánico llamado *turba*, en cuya formación interviene la acción bacteriana. Según sean los restos acumulados, pueden producirse distintos tipos de carbón: el carbón de esporas, el carbón de algas, etc. La presión ejercida por los sedimentos orgánicos sobre la turba y la temperatura más elevada transforman la turba en lignito, que al sufrir los efectos de nuevos sedimentos da lugar a la hulla y a la antracita. En el esquema de abajo, composición del carbón en función de su edad. Se ve que el envejecimiento confiere al carbón un contenido mayor de carbono y menor de oxígeno y nitrógeno aunque el hidrógeno permanece constante.



El carbón está formado en su mayor parte por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros componentes (arcilla, sílex, óxidos de hierro, etc.), que al calcinar el carbón quedan en forma de residuos.

El proceso de formación es el siguiente: en las plantas, los compuestos del carbono proceden del dióxido de carbono, que contienen el aire y el agua, mientras que la energía necesaria para el proceso de formación procede del Sol. Al morir, las plantas viejas se acumulaban en las aguas pantanosas hasta formar un substrato compacto, de gran contenido en materia orgánica, llamado *turba*, utilizada también como combustible. A medida que el mar iba cubriendo, en sucesivas etapas, una determinada área, se iban formando nuevos sedimentos. La turba, por efecto de la presión ejercida por otras capas de sedimentos que se iban sobreponiendo, dio origen a la formación de *lignito*, un carbón oscuro de baja capacidad calórica. El transcurso del tiempo y las presiones cada vez más elevadas dieron lugar a una nueva variedad: el *carbón bituminoso* o *hulla*. Donde la presión se hacía crítica, como sucedió cuando se formaron las cadenas montañosas, se producía el tipo de carbón más duro, la *antracita*.

Tipos de carbón El carbón puede clasificarse en base a varias características: particularidades geológicas (edad y génesis), propiedades como combustible (tanto térmicas como mecánicas) y características de su composición (contenido de ciertas complejas sustancias químicas hidrogenadas y nitrogenadas, de compuestos del azufre, etc.). Las características mecánicas, y en parte también las químicas, varían muy poco entre carbones de la misma edad.

En una primera aproximación, los carbones se pueden clasificar en:

1) *Lignitos*: son carbones de origen reciente, en su mayoría cenozoicos, de muy escaso poder calorífico, y que producen gran cantidad de cenizas al quemarse; su color es oscuro o grisáceo claro. A causa de su bajo poder calorífico, se utilizan sólo cuando se puede rentabilizar su extracción y utilización por encontrarse en capas potentes y superficiales, factibles de ser explotadas a cielo abierto.

2) *Carbones bituminosos o grasos*: a esta categoría pertenece la hulla, de elevado contenido en carbono y gran poder calorífico, impermeable y que se presta muy bien a la destilación y a la producción de coque, el residuo carbonoso que se utiliza en la reducción del óxido de hierro a hierro fundido sin purificar en los hornos altos.

3) *Antracita*: es el carbón más antiguo y el que está dotado del máximo poder calorífico y del mayor contenido en carbono (hasta el 95%). Tiene un aspecto brillante; arde con llama, dando pocas cenizas. El inconveniente que tiene es que procede de yacimientos profundos en los que se encuentra en filones de pequeño espesor, lo que hace que su extracción resulte difícil y costosa.

En estos últimos años, muchas sustancias que pueden ser extraídas de la destilación del carbón han perdido interés, por la posibilidad de ser obtenidas con procesos petroquímicos.

Recursos, reservas y producción El carbón está abundantemente distribuido sobre la Tierra, pero los depósitos más importantes se encuentran en la Unión Soviética, que está a la cabeza con el 45%, seguida de Estados Unidos (24%), China (13%) y Australia (6%). Las actuales reservas mundiales de carbón ascienden a casi 800.000 millones de toneladas de carbón equivalente. En términos de producción, Estados Unidos, la Unión Soviética y China producen el 60% del total mundial. Los seis productores siguientes más importantes son: Polonia, Rep. Federal Alemana, Gran Bretaña, Sudáfrica y la India, que producen en conjunto el 25% del total mundial. Por lo que concierne a los países en vías de desarrollo, casi la mitad poseen recursos conocidos, y más de la mitad tienen yacimientos en explotación. De todas formas, su producción apenas llega al 5% del total mundial. Dentro de este grupo de países la India es el productor y consumidor más importante, mientras que Colombia, Botswana e Indonesia tienen grandes perspectivas para la exportación de carbón en un futuro próximo.

Extracción y preparación Para la extracción del carbón se utilizan principalmente dos métodos: la explotación a cielo abierto y la explotación subterránea.

Explotación a cielo abierto. La extracción se efectúa en zonas en las que el filón de carbón está cerca de la superficie. En este tipo de extracción, se levantan las capas más superficiales del terreno dejando el carbón al descubierto, lo que facilita considerablemente los trabajos. Con aparatos especiales se rompe el carbón, separando grandes cantidades de manera rápida y económica. Con este método se necesitan pocos operadores expertos y una sola mina puede producir hasta 20 millones de toneladas de carbón al año. Las leyes actuales, en muchos países, obligan a las sociedades mineras a restituir el material drenado y la vegetación destruida: estas normas forman hoy parte de todos los programas mineros de planificación y desarrollo.

Explotación subterránea. En este método de extracción tradicional se utilizan tres tipos de acceso a las minas subterráneas:

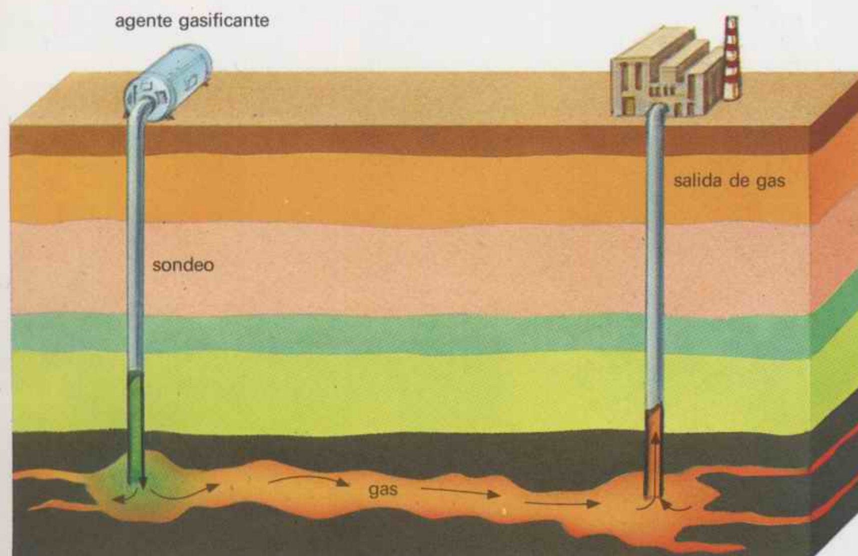
a) *acceso con pozo vertical*, en el que se practica una abertura vertical que va desde la superficie, atravesando la roca, hasta el filón. El carbón se sube a la superficie mediante el empleo de maquinaria compleja y mano de obra cualificada;

b) *acceso por plano inclinado*, en el que el carbón se saca a través de un corredor vertical excavado desde la superficie hasta el nivel donde se encuentra el mineral. La longitud de estos corredores puede variar de sólo unos treinta metros hasta mil. Unas cintas transportadoras sirven para desplazar hombres y máquinas dentro y fuera de la mina.

Esquema de las "transformaciones" y principales usos del carbón. El uso indirecto como combustible es actualmente importante sólo en las centrales termoeléctricas, mientras que es muy limitado en las demás aplicaciones tradicionales (cocinas, hornos, calderas, locomotoras). A través de la destilación del carbón en seco, que se efectúa en instalaciones llamadas *coquerías*, se obtiene gas ciudad, coque metalúrgico y una serie de productos de destilación agrupados en dos fracciones, llamadas *aceite ligero* y *alquitrán*. De estas últimas, después de una ulterior destilación, se obtiene una mezcla de productos químicos (entre los cuales está el benzol), utilizados para la fabricación de diversas sustancias colorantes y de explosivos. Finalmente, sometiendo el carbón a procesos de conversión (o gasificación) se puede obtener de él gas de síntesis, que puede servir cómo sustituto del gas natural; o, junto a gas de síntesis, otros productos similares a los presentes en el petróleo.



UN NUEVO METODO DE EXTRACCION

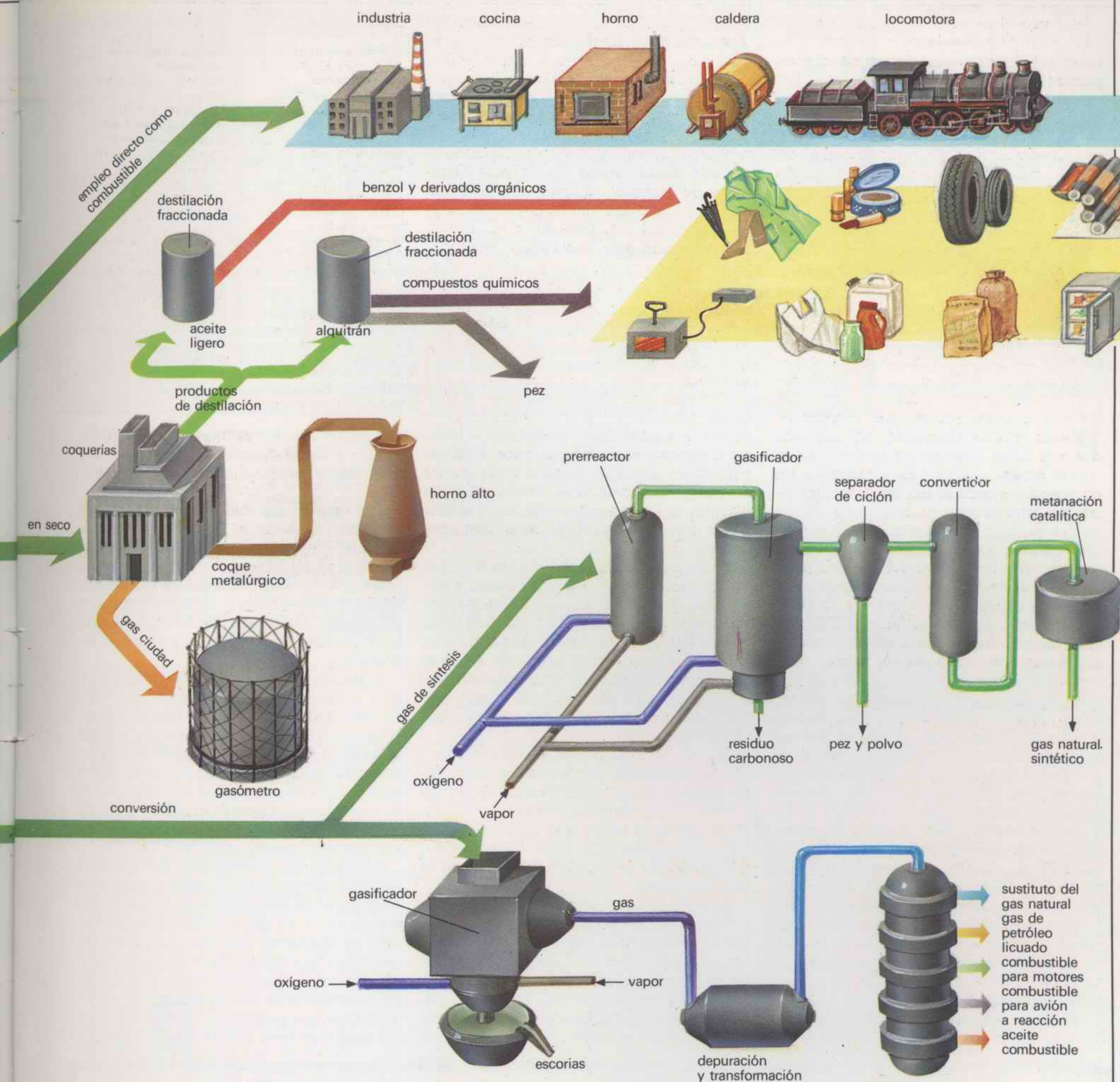


Uno de los factores de coste del carbón que inciden hoy en día de manera prohibitiva sobre la posibilidad de su empleo es la extracción. El hecho de que el hombre tenga que bajar a la mina a recoger el preciado material, aunque sea con la ayuda de maquinaria eficiente, limita la ventaja de empleo respecto a los combustibles que, como el petróleo, suben solos a la superficie a través del pozo. De todas formas, en un futuro no muy lejano, el carbón podrá ofrecer una perspectiva aún mejor que la del petróleo: es decir, la posibilidad de ser extraído de la mina bajo la forma de un combustible gaseoso. Aquí vemos cómo, introduciendo en la mina un agente gasificante, se puede poner en marcha una combustión parcial del carbón. Los productos gaseosos así obtenidos pueden ser recogidos en la superficie y destinar su empleo a gases combustibles.

c) *galería en dirección*, en la que el carbón se puede sacar a través de un agujero horizontal excavado desde el exterior directamente en el lecho del carbón.

Siempre hay dos aberturas en una mina, con el fin de favorecer la circulación del aire y para permitir vías de salida alternativas en caso de emergencia.

Hay dos métodos principales de laboreo subterráneo: el de *cámara y pilares* y el de *explotación de frente largo*. En el primer procedimiento, una vez conseguido el acceso al filón, se abren túneles (cámaras) en él con el fin de dividirlo en cierto



número de bloques rectangulares de carbón (pilares) que pueden o no extraerse seguidamente. La extracción se realiza generalmente con máquinas, que eliminan la necesidad del picado manual o paleado del carbón. El material es recogido mecánicamente en la parte posterior de la máquina y cargado sobre cintas transportadoras o vagones que lo llevan a la superficie.

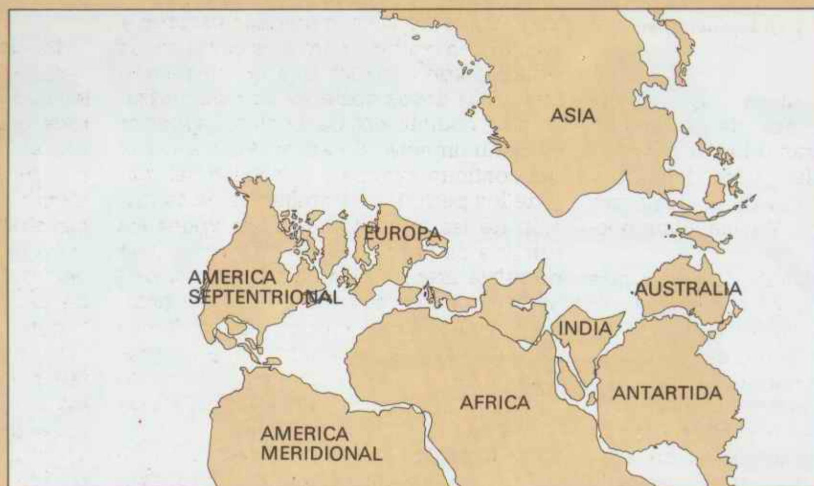
La explotación de frente largo es un sistema de extracción total: en una sola operación se extrae todo el carbón de una determinada zona. Para ello se excavan dos túneles paralelos (galerías de base y de cabeza) que se unen por medio de otra galería perpendicular (frente largo). De este frente se extraen capas sucesivas de mineral, que es llevado por una cinta transportadora hasta la galería de base y de ahí a los pozos de extracción.

El carbón y el futuro El carbón es muy útil, tanto como combustible base para generar electricidad y vapor, como en la producción de gas, de combustibles líquidos, materias plásticas y productos químicos. La producción de combustibles gaseosos y líquidos del carbón constituye el objeto de ambiciosos proyectos que ya se empiezan a realizar. La combinación del carbón con el petróleo bruto es otra posibilidad para alimentar las centrales eléctricas. Otra idea muy prometedora es el empleo del carbón en la combustión fluida, en donde se inserta aire con circulación forzada en un "lecho" de material, con producción de energía de alto rendimiento y en el que se puede controlar automáticamente la salida de sustancias dañinas a la atmósfera.

Véase **Minería y técnicas mineras**

Carbonífero, período

Años 10^6	Eras	Períodos	
	Cenozoica	Cuaternario	
1.8		Terciario	Neógeno
			Paleógeno
67	Mesozoica	Cretácico	
141		Jurásico	
195		Triásico	
230	Paleozoica	Pérmico	
280		Carbonífero	
347		Devónico	
396		Silúrico	
435		Ordoviciense	
500		Cámbrico	
570	Precámbrica	Proterozoico	
2.700		Arcaico	
4.000			



A la izquierda, la situación del período Carbonífero en la historia geológica de la Tierra. Es el penúltimo de la era Paleozoica o Primaria. Su duración es de unos 67 millones de años, superando la de otros períodos de la misma era y en particular la del Devónico que le precede. El mapa recoge la posición de los bloques continentales; existían sólo dos grandes bloques: el primero comprendía las Américas, Europa, Africa, Australia, la Antártida y la India; el otro, Asia, Indonesia y Japón.

Hace aproximadamente 347 millones de años empezó un período en el que el cambio de nivel de los mares y los numerosos movimientos de la corteza terrestre provocaron el comienzo de un nuevo capítulo en la historia geológica de nuestro planeta. En aquella época, la mayor parte de los animales y de las plantas vivía en el mar o a orillas de los lagos y de los ríos. Fue en los sucesivos 67 millones de años, durante el período Carbonífero, cuando sucedió la gran transición de los seres vivos del agua a la tierra.

En los continentes septentrionales, mares poco profundos y templados cubrían gran parte del territorio. Un mar de este tipo cubría lo que hoy en día es Norteamérica, desde los Apalaches hasta las montañas Rocosas; otro ocupaba la cuenca europea, desde Gran Bretaña y Francia hasta Polonia y la parte central de la Rusia europea. Al mismo tiempo, la elevación de algunas montañas provocó la formación de estratos de sedimentos, que crearon zonas de terreno pantanoso a nivel del mar. Durante el Carbonífero, el océano Atlántico no se había abierto todavía, la actual península Ibérica se encontraba unida a Terranova y separada de Europa, que a su vez se hallaba unida a América del Norte.

En este período el clima se caracterizó por ser templado y húmedo, y por primera vez una vegetación abundante —plantas criptógamas de dimensiones arbóreas y helechos gigantes— cubría vastas zonas de tierra emergida. Eran muchísimos los insectos, y los primeros anfibios empezaron a arrastrarse por los bosques pantanosos.

El nombre de este período alude a que en él se formaron los principales yacimientos de carbón. En efecto, en épocas sucesivas el clima se enfrió, subió el nivel de las tierras emergidas y disminuyeron las zonas de mar poco profundo. Muchas especies de plantas se extinguieron y, finalmente, las selvas quedaron enterradas bajo nuevas capas de sedimentos y fragmentos de roca.

Bajo la presión de estos estratos rocosos, la vegetación, en vías de putrefacción, se transformó en voluminosas masas de carbón. Así, el término *período Carbonífero* se aplica al lapso que va desde hace 347 millones de años hasta hace 280 millones, siendo ese el período quinto de la era Paleozoica.

Los geólogos dividen el Carbonífero en dos partes. Los primeros 30 millones de años se denominan *Carbonífero inferior*, y los 37 sucesivos, *Carbonífero superior*. Se utilizan los términos "inferior" y "superior" ya que corresponden a la estratificación de las rocas: las capas más antiguas yacen debajo de las más recientes. En América del Norte, las denominaciones *Mississippiense* y *Pennsylvaniense* se aplican, respectivamente, a las mismas subdivisiones.

Los continentes durante la gran era del carbón Durante el Carbonífero había sólo dos grandes continentes. El bloque meridional de tierras emergidas, que los geólogos llaman *Gondwana*, se recogía alrededor del Polo Sur y estaba compuesto por lo que ahora son Sudamérica, Africa, la Antártida, Australia y la península Indostánica.

América del Norte, Groenlandia, Europa y Asia formaban un bloque septentrional, denominado *Laurasia*, y los dos supercontinentes estaban separados por un mar ecuatorial, Tethis. En principio Asia septentrional estaba separada de Laurasia por un estrecho brazo de mar, pero los geólogos afirman que en el Carbonífero terminal se unió a Europa con la formación de los montes Urales.

Mientras los continentes de Laurasia gozaban de un clima ecuatorial, la región meridional, o Gondwana, mostraba señales de un clima extremado, con la formación de glaciares. Eran los comienzos de una gran era glacial Permo-Carbonífera. Movimientos sucesivos de la corteza terrestre separaron los supercontinentes en unidades más pequeñas, de tal forma que las capas de roca que se formaron, en un

El período Carbonífero dura sesenta y siete millones de años y en todo ese tiempo tienen lugar muchos fenómenos tanto geológicos como biológicos en el mundo y en la vida. Los continentes están reunidos en la Pangea. En Norteamérica termina la orogénesis Acadiense. Otros fenómenos de orogénesis se suceden uno tras otro en Europa: la Bretona, la Sudeta, la Erzínica y la Astúrica. En América tienen lugar las orogénesis de Wichita, de Arbuckle, de Marathon y la llamada *Revolución de los Apalaches*. También en los otros continentes se observan profundos fenómenos tectónicos y orogénicos, entre ellos de Liukiang (China), los de Siberia Oriental, el de Hainan (China), de Kanimbla (Australia), de Kunming (China) y de Tugwu (también en China).
Los mares invaden gran parte de los continentes: en Norteamérica el geosinclinal de Manhattan se prolonga y se extiende hasta Alaska, mientras que emergen otras partes del continente. Sucesivamente los mares invaden América Central, parte de América del Norte, el Nordeste de Africa, España y la plataforma rusa. Tethis, el largo mar que desde el actual Mediterráneo se extiende hasta el actual mar Amarillo, se ensancha; en Australia y en China, en cambio, los mares se retiran (es decir, los continentes emergen) y, más tarde aún, emergen América Central, Alaska, la costa atlántica de Norteamérica. En Europa corresponde a la época en la que se forman la mayor parte de los estratos de carbón. Tethis, Himalaya, Siberia oriental vuelven a emerger.
En Australia y Africa meridional comienza una larguísima glaciación que en Australia alcanzará su punto máximo sólo diez millones de años más tarde, hacia finales del período, y se prolongará en el sucesivo, el Pérmico. Finalmente, mientras que Europa occidental emerge otra vez al final del período, Sudamérica, Siberia oriental e Himalaya vuelven a sumergirse en el mar.
En las aguas de los océanos se producen cambios en las especies más frecuentes de Lamelibranquios, los arrecifes coralinos se extienden y sucesivamente se retiran, a causa de las variaciones de temperatura de las aguas. Se extienden los Crinoideos. En tierra firme se expanden los bosques de Sigilarias y Lepidodendros. Aparecen los insectos de metamorfosis incompleta. Hacia mediados del período aparecen las coníferas; los bosques invaden las lagunas. El mundo vegetal se divide en cuatro provincias florísticas.

principio en condiciones climáticas comunes a latitudes similares, se encuentran en partes del mundo hoy muy distantes entre sí.

El sistema Carbonífero El sistema Carbonífero (la secuencia de estratos de roca depositados durante los 67 millones de años del Carbonífero) fue definido y analizado por primera vez, en 1882, por dos geólogos ingleses, William Conybeare y William Phillips.

Las rocas del Carbonífero inferior más difundidas en Europa y en América del Norte son las rocas calcáreas. Muchas veces la caliza, que se formó en los mares poco profundos por la deposición de carbonato cálcico resultante del metabolismo de las algas marinas, aparece en formaciones estratificadas y se extrae en todos los continentes para ser utilizada como piedra para la construcción o para la fabricación del cemento. La arenisca y la grauvaca (una formación arenosa cuyos granos son fragmentos de roca, minerales oscuros y arcilla) son también comunes en las capas situadas cerca de las que en un tiempo fueron las líneas costeras. La característica más notable del Carbonífero superior es, naturalmente, el carbón. Pero a causa del continuo avance y retroceso del mar y de los períodos intermitentes de formación de las montañas, muchas veces los estratos de carbón se alternan con capas de caliza, arenisca y arcilla. La mayor parte de las reservas carboníferas del mundo, que se estiman en casi 3.000 millones de toneladas, se encuentra en el sistema Carbonífero; las mayores concentraciones están en América del Norte, en el País de Gales, en Alemania Occidental, en Polonia, en la Unión Soviética y en Australia. En España la cuenca carbonífera más importante se encuentra en Asturias, pero existen otras en el norte de las provincias de León y Palencia. Otras cuencas carboníferas se sitúan en Sierra Morena (Puertollano y Peñarroya) y en los Pirineos (San Juan de las Abadesas).

El gas natural, que se libera durante la transformación de las sustancias orgánicas de las plantas en carbón, es otro producto importante del Carbonífero. Se encuentra en las rocas porosas por encima de las capas de carbón, y las reservas más importantes están localizadas en América del Norte, en Holanda, en Alemania y en el Mar del Norte.

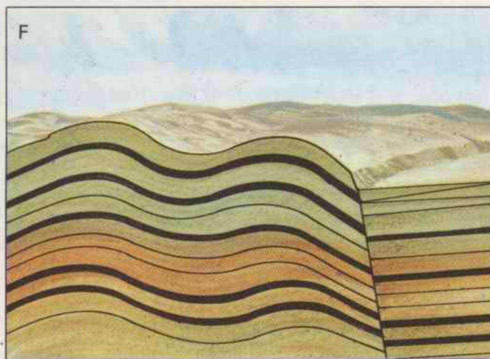
La documentación fósil Los *fósiles* —restos o huellas de las plantas y animales que se han quedado encerrados en la roca, gracias a lo cual se han podido conservar— constituyen la llave para la reconstrucción de la historia de la Tierra. Por ejemplo, puesto que las rocas calcáreas han sido depositadas por el mar en distintos períodos, el único modo para establecer con seguridad la fecha de una capa de caliza particular es el estudio de los testimonios fósiles que contiene. Desde este punto de vista son particularmente interesantes los *fósiles guía*, es decir, los restos de un animal o de plantas pertenecientes a una especie bien definida que estuvo presente en una vasta zona de la Tierra sólo en un período de tiempo relativamente corto. Estos, como los trilobites del Cámbrico, pueden constituir la señal diferenciadora de un período específico.

Así, los geólogos definieron el estrato más bajo del sistema Carbonífero como el punto en el que una especie particular de cefalópodo (*Gattendorfia subinvoluta*, relacionado con las actuales sepias y calamares) apareció por primera vez. La aparición en una época sucesiva de otro cefalópodo (*Eumorphoceras tornquisti*) define la frontera entre los subperíodos del Carbonífero inferior y superior.

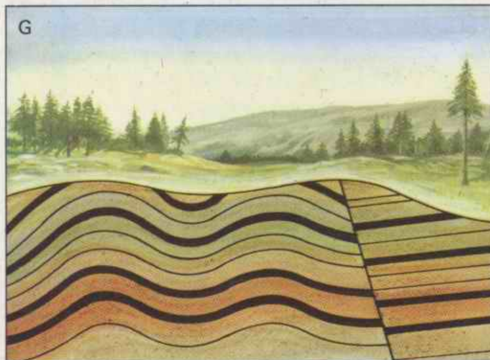
El período Carbonífero se caracteriza por la explosión evolutiva de los vegetales. Abajo, el paisaje del bosque pantanoso típico de la época. Equisetos, Lepidodendros, Sigiliarias y helechos arbóreos dominan la escena; a su muerte, los troncos caídos en el agua y sumergidos en el barro se descompondrían sin oxidarse, produciéndose así la lenta formación del carbón. Entre las ramas vuela la Meganeura, una libélula "gigante" con una abertura de alas de 75 centímetros.

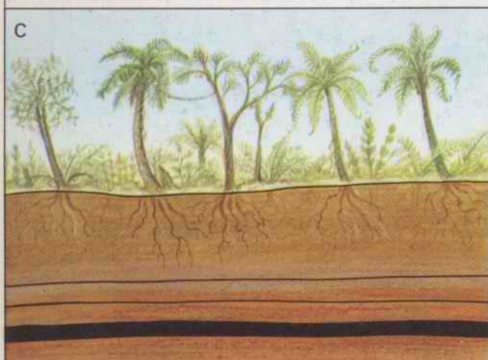


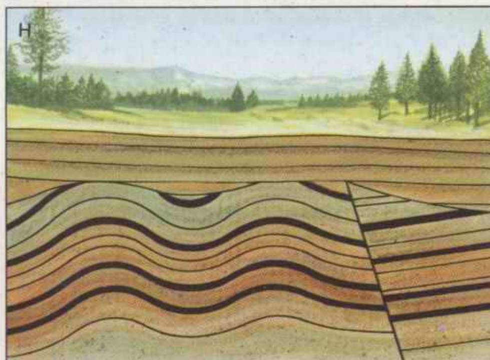




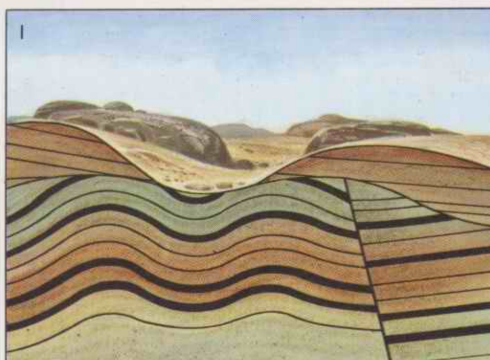




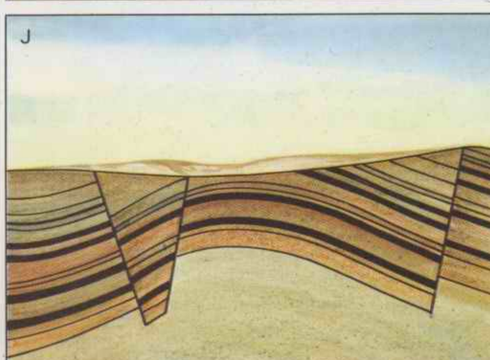












Plantas del período Carbonífero Los paleontólogos han identificado los fósiles de más de 3.000 especies de plantas de los estratos carboníferos. Precedentemente ya habían aparecido algunas especies de plantas terrestres, pero es durante el Carbonífero cuando —junto a la variada y floreciente flora pantanosa— el paisaje se enriqueció con nuevas especies. Las Calamariáceas (parecidas, pero mucho más grandes, a los actuales Equisetos), Lepidodendróceas (antepasados de los Licopodios actuales) y helechos del Carbonífero se diversificaron en especies y tuvieron su máximo desarrollo, mientras que las Pteridospermas, de aspecto de helecho, de tallo arbóreo y lianoso y con grandes hojas, que ya habían aparecido al comienzo del período y quizás también hacia finales del Devónico, se hicieron mucho más abundantes y se convirtieron en grandes árboles de 30 a 40 metros de altura, muy ramificados, con hojas largas y estrechas. Es la época de las grandes Sigilarias, de gran tronco en forma de columna, completamente recubierto de grandes cicatrices en forma de sello, debidas a la caída de las hojas; destacan los majestuosos Lepidodendros, los característicos Calamites, con su singular forma de candelabro. Al mismo tiempo los organismos más sencillos, como las bacterias y las algas, siguen prosperando en los mares.

Vida animal El período Devónico, que precedió al Carbonífero, se caracteriza por una gran abundancia de peces primitivos, mientras que en el Carbonífero asistimos al comienzo de la difusión de la vida animal sobre la tierra. En efecto, los paleontólogos a menudo se refieren al Carbonífero como a la "era de los anfibios". La palabra griega *anfibio* significa "doble vida" y los animales de esta clase (como ranas, sapos y salamandras de hoy) depositan los huevos en el agua, habitan en ella en el período que sigue al nacimiento, pero se vuelven independientes del ambiente acuático en el momento en que se convierten en adultos.

Animales como los grandes Laberintodontes y los Lepospóndilos, parecidos a

En esta secuencia se esquematiza el proceso de formación del carbón. En un territorio caluroso y pantanoso prospera el bosque carbonífero (A). La subida del nivel del mar, alternada con el retroceso, provoca la formación de pantanos. Cuando son más profundos, la vegetación muere y los restos de los árboles se entierran en un ambiente anaeróbico en el que pierden las materias volátiles hasta que casi sólo queda carbono puro (B,C,D). Si el avance del mar (transgresión) dura bastante tiempo, encima de la capa de carbón se depositará un estrato más o menos potente de sedimentos que se consolidaron en rocas duras e impermeables, (E). Después comienza el fenómeno llamado *tectonización*, es decir, el terreno es comprimido tanto en sentido vertical, por el paso de los sedimentos que se acumulan encima, como en sentido horizontal. Los empujes horizontales provocan la formación de las ondulaciones de las capas y fisuras (fallas) (F y G). El fenómeno continúa después con otras deposiciones de sedimentos (H,I,J).

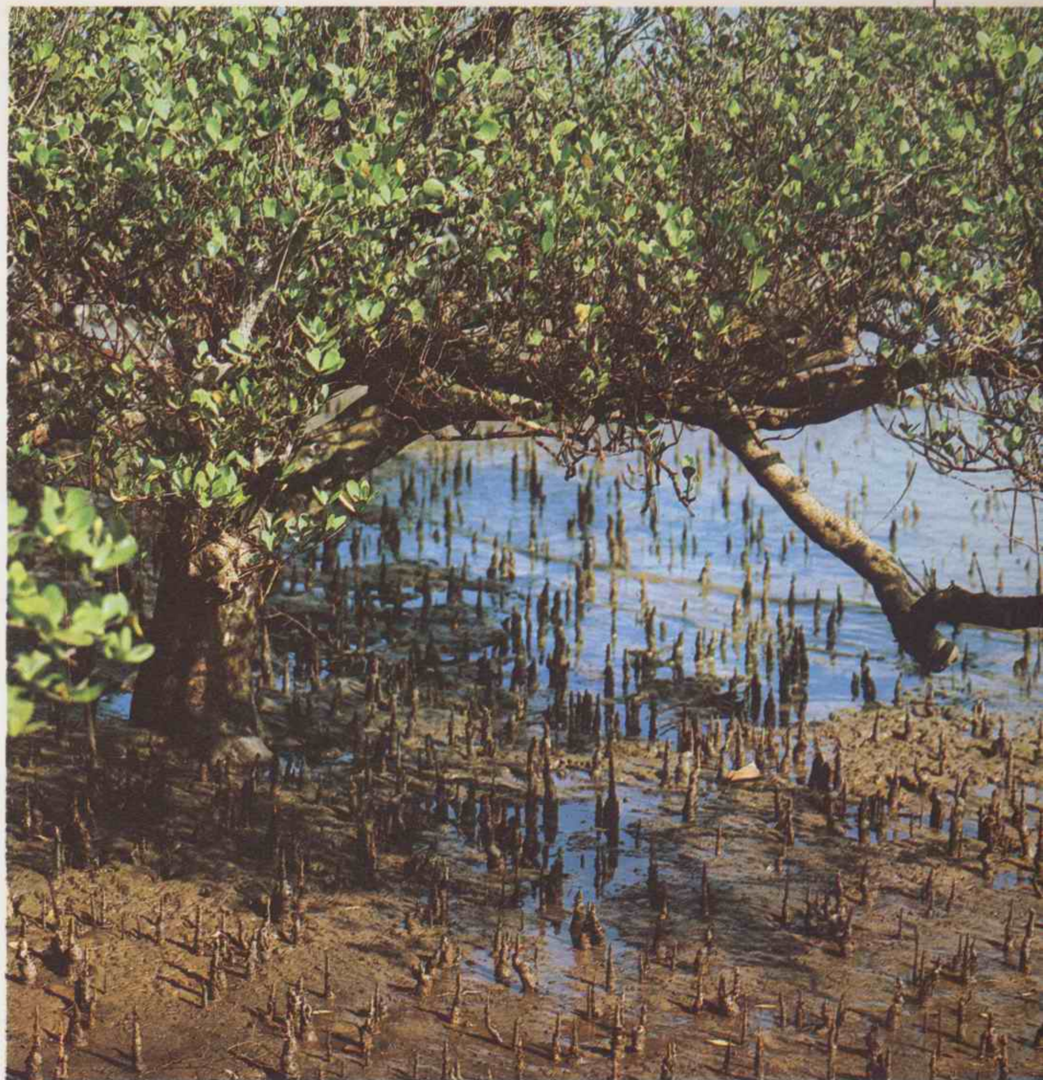
salamandras, merodeaban por los pantanos. Algunos anfibios de aquel período llegaron a medir 4,5 metros de largo.

Los tiburones tuvieron una gran expansión y se convirtieron en los dominadores de los mares, mientras que sobre la tierra proliferaban los insectos. En las rocas del Carbonífero se han encontrado más de 800 especies de insectos y una libélula fósil, la Meganeura, que tenía una abertura de alas de 75 centímetros.

Aunque la evolución progresase rápidamente en el mar y sobre la tierra, los animales invertebrados, de cuerpo blando o con esqueleto externo, constituían la principal forma de vida. Grandes protozoos (animales monocelulares con conchas divididas en numerosas pequeñas celdas, llamados *Fusulínidos*) que llegaban a alcanzar los 10 centímetros de largo sirven de fósiles-guía para el sistema Carbonífero. Los corales y otros animales con tentáculos, llamados *Briozoos*, construyeron importantes arrecifes submarinos. Los Braquiópodos (encerrados en una especie de concha, fijados al fondo marino por un pedúnculo), los Artrópodos (sobre todo los Trilobites, que han precedido a los actuales Crustáceos) y los primitivos Gasterópodos (antepasados de los caracoles) estaban presentes en gran cantidad en el ambiente marino. Los Cefalópodos, en particular algunas formas con la concha en espiral, tuvieron una rápida evolución y por consiguiente son muy apreciados como fósiles-guía.

Carbonífero terminal Hacia finales del Carbonífero, el clima empezó de nuevo a cambiar, a causa de la deriva de los continentes y de la formación de nuevas y altas montañas. Las zonas emergidas, que antes se encontraban cerca del ecuador, empezaron a volverse áridas y desérticas, y en general el clima se hizo más seco y frío. Emergieron nuevas tierras mientras que los mares empezaron a retirarse. Muchas especies de plantas que habían prosperado en el Carbonífero se extinguieron. De todas formas la vida animal ya estaba fuertemente instalada sobre las tierras emergidas y empezaron a aparecer los primeros reptiles. En el período Pérmico, que siguió al Carbonífero, los reptiles se hicieron más numerosos que los anfibios y en la era Mesozoica los dinosaurios dominaron la tierra.

Véase **Geología; Paleontología; Paleozoica, era; Rocas**



Abajo: a la izquierda, un ejemplar aumentado de *Densosporites*, una espora de 42 micras, procedente de Pennsylvania; en el centro, helechos fósiles con ramas y hojas; a la derecha, una hoja fósil, probablemente de conífera.
Arriba, una formación de manglares, con los pneumatóforos que afloran de entre el barro. Esta vegetación, muy difundida actualmente en las zonas costeras ecuatoriales, tropicales y subtropicales da una idea aproximada del paisaje del Carbonífero.







Carbono

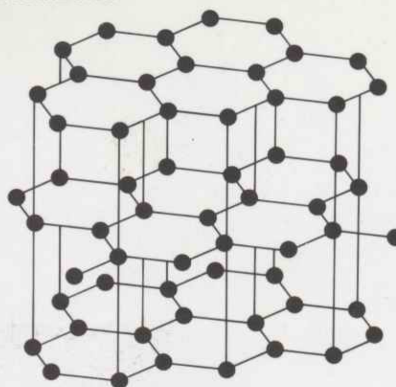
NOMBRE	CARBONO
SIMBOLO	C
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	Del latín *carbo*, carbono
N.º ATOMICO	6
PESO ATOMICO	12,001115
ESTADO NATURAL	Está contenido en toda la materia viva, en la calcita, aragonita, dolomías, carbón, como grafito y como diamante
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	Conocido desde la prehistoria
PRODUCCION	—
P. de f. (°C)	3.550
P. de eb. (°C)	4.827
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	1,8-2,1 2,25 3,51[2]
PROPIEDADES Y APLICACIONES	Tiene la propiedad de unirse a otros átomos de carbono por enlace covalente (compuestos orgánicos) y es de gran importancia biológica (ciclo del carbono); entre los compuestos inorgánicos, son importantes el monóxido de carbono CO, el dióxido de carbono CO_2, el sulfuro de carbono CS_2 y el tetracloruro de carbono CCl_4.



Todos los seres vivos, ya sean vegetales o animales, contienen carbono, y este versátil elemento está contenido también en un extraordinario número de objetos de nuestra vida diaria. Por ejemplo, cuando se escribe con un lápiz, la línea dejada está compuesta por partículas de grafito (compuesto de carbono). Los neumáticos de los automóviles son negros porque se ha añadido carbono al látex del que se fabrica la goma, para conferirles una mayor durabilidad. Incluso este texto está estampado con tinta cuyo color deriva del carbono, más conocido en la época de las lámparas de petróleo como "negro de humo". Y es que el carbono está por todas partes y es en cierto sentido la materia prima de la vida. Sobre todo, es el factor esencial que liga a los organismos con el ambiente en el intercambio bidireccional conocido como *ciclo del carbono*.

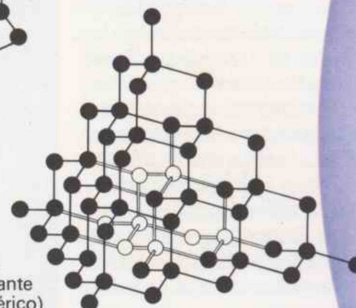
El carbono tiene de número atómico 6, lo que significa que el núcleo de su átomo está rodeado por 6 electrones. De ellos, cuatro son *electrones de valencia*, es decir, aquellos electrones que pueden unirse con electrones de valencia de otros elementos para formar compuestos químicos. Los químicos representan el carbono con el símbolo $-\overset{|}{\underset{|}{C}}-$, en el cual los cuatro trazos representan las valencias.

MODIFICACIONES ALOTROPICAS DEL CARBONO



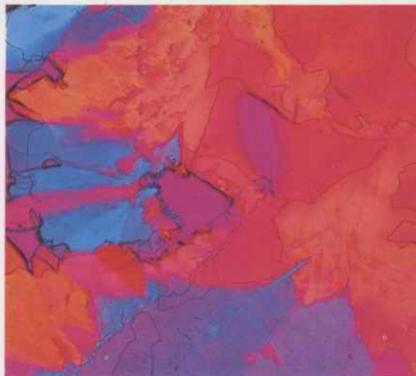
retículo cristalino del grafito (hexagonal)

Al lado, estructura del grafito constituida por laminillas formadas por átomos de carbono dispuestos en los vértices de un hexágono. En el diamante (abajo), por el contrario, cada átomo de carbono está rodeado por otros cuatro dispuestos en los vértices de un tetraedro.
En la foto de la izquierda, diamante de Kimberlita (Sudáfrica).



retículo cristalino del diamante (monomérico)

Según la estructura tridimensional que adopten los átomos de carbono en el espacio, se pueden obtener dos sustancias tan diferentes entre sí como son el diamante o el carbón; en el diamante, los distintos átomos de carbono, cuya disposición espacial se asemeja a la de una pirámide, se colocan unos junto a otros de un modo organizado y regular, produciendo así una estructura *cristalina*. Por otro lado, en el carbón las pirámides de los átomos de carbono se "amontonan" de forma desordenada como un montón de ladrillos, dando lugar a una estructura *amorfa*.

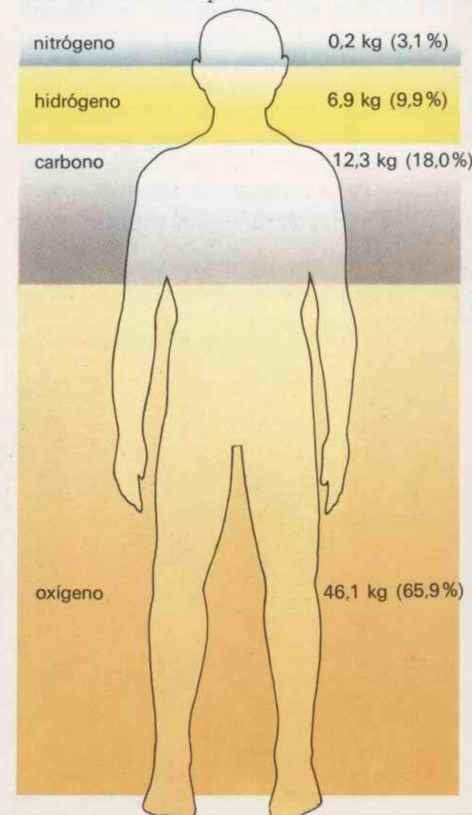


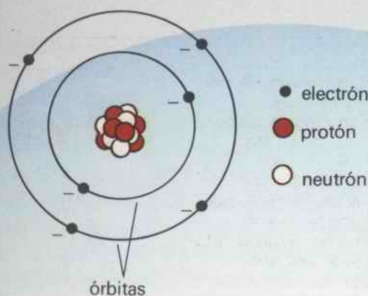
Franco Frezzato

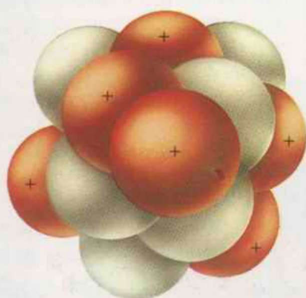


Franco Frezzato

Aplicaciones fundamentales Los diamantes, por las condiciones extremas de presión y temperatura que requieren en su formación, son formas de carbono muy raras, que cuando tienen un tamaño grande y son bastante puros, alcanzan un precio altísimo, dado que no abundan en la Naturaleza y no es frecuente encontrarlos. Estos diamantes se tallan con mucho cuidado hasta convertirlos en piedras preciosas. Los diamantes más pequeños y menos puros tienen aplicaciones en el campo industrial: por su gran dureza son ideales como utensilios para tallar y cortar. Esta dureza excepcional es el resultado

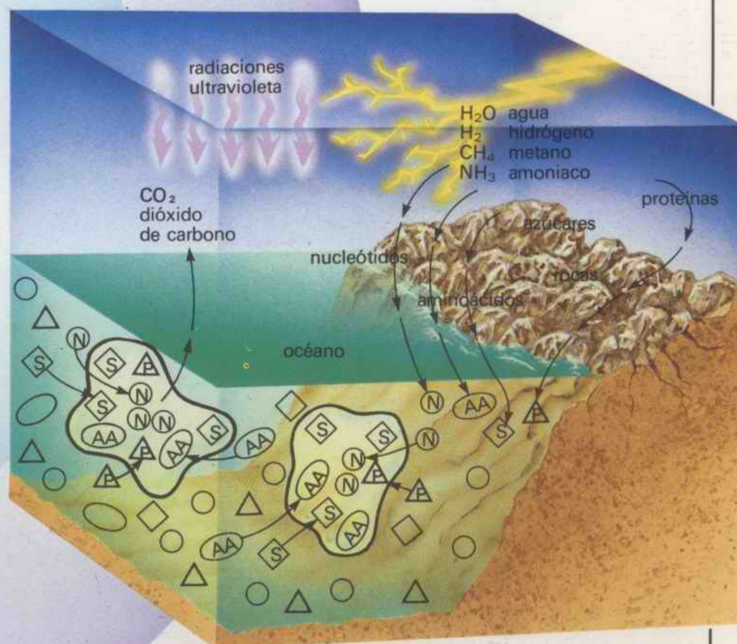






órbita

La estructura de las moléculas esenciales de los organismos vivos (grasas, hidratos de carbono, proteínas, ácidos nucleicos) se basa en enlaces que el átomo de carbono puede formar con sus cuatro electrones externos. El cuerpo humano, en la página anterio, abajo, está compuesto por carbono en un 18% de su peso. En las fotos a su izquierda, galactosa (arriba) y progesterona vista con luz polarizada (abajo).

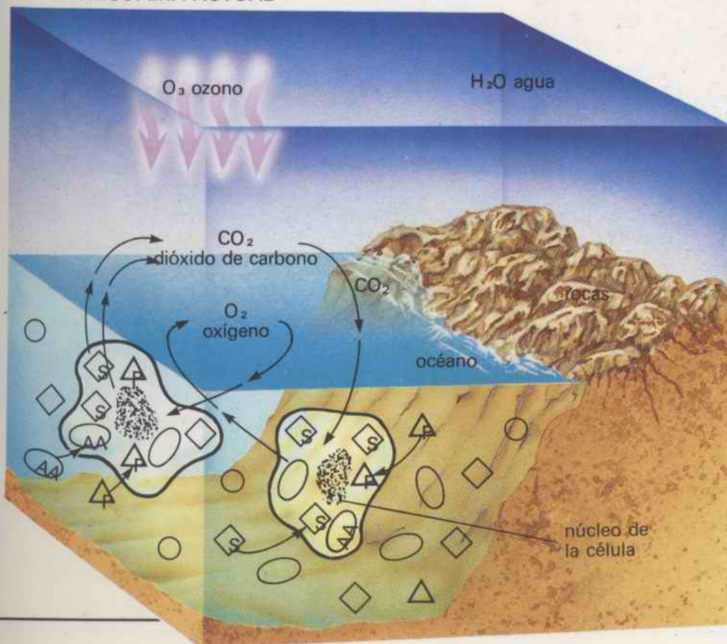


CONDICIONES PRIMITIVAS

compuestos orgánicos
coacervados
fermentación

AA=aminoácidos
P=proteínas
N=nucleótidos
S=azúcares

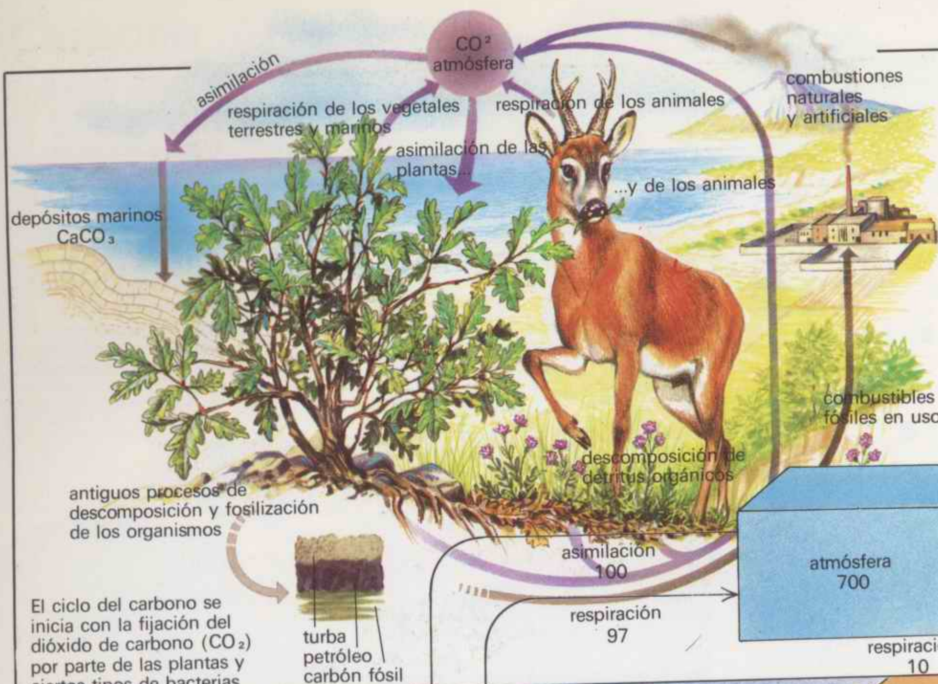
ATMOSFERA ACTUAL



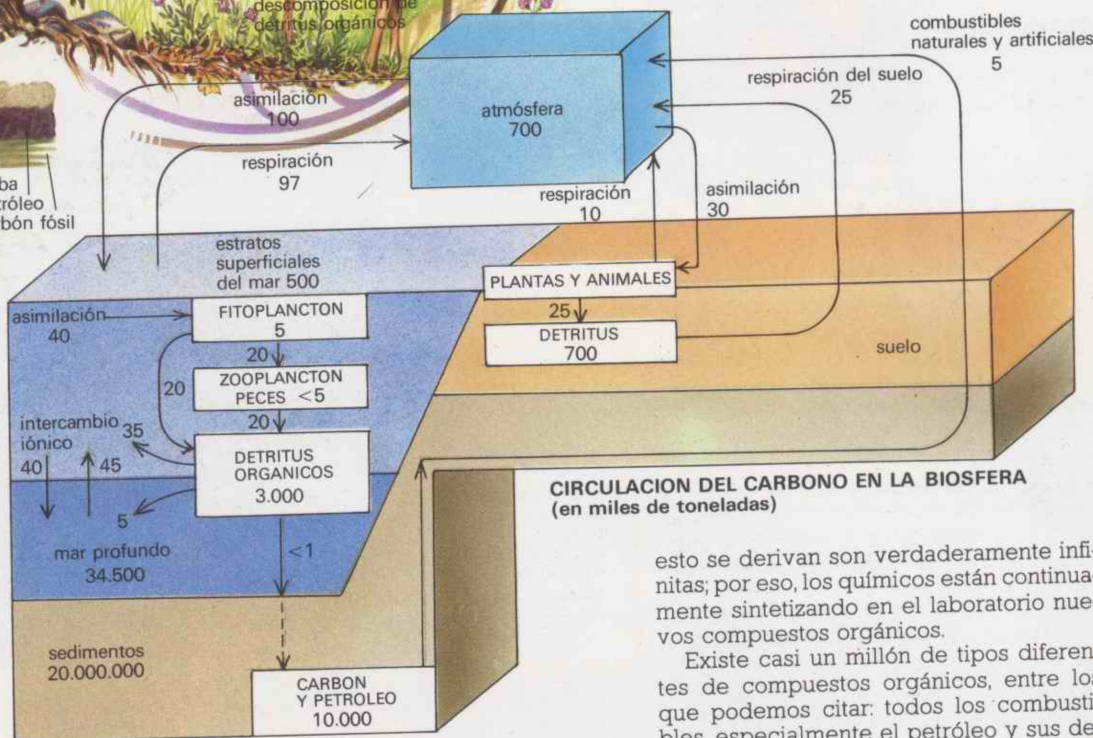
EVOLUCION DE LA ATMOSFERA

compuestos orgánicos
coacervados
fermentación
fotosíntesis
respiración

Las dos ilustraciones (arriba y abajo), que reproducen dos etapas de la historia de la vida sobre la Tierra, antes y después de la aparición de la fotosíntesis, pretenden subrayar el papel biológico fundamental del carbono, inicialmente presente en forma de metano en la atmósfera primitiva. Se piensa que las moléculas esenciales para la vida (hidratos de carbono, aminoácidos, proteínas y nucleótidos) se formaron por reacciones activadas por rayos de tormenta o por las radiaciones ultravioleta. Estas moléculas, combinándose en el seno de los océanos, habrían formado agregados (coacervados) a partir de los cuales se habrían podido desarrollar las primeras células (procariotas), capaces de automantenerse a través del mecanismo de la fermentación, con desprendimiento de dióxido de carbono. A continuación, en la parte de abajo, habrían aparecido las células provistas de un núcleo diferenciado (eucariotas), capaces de realizar la fotosíntesis y responsables de la introducción del oxígeno en la atmósfera. Este gas, a su vez, habría hecho posible el desarrollo de células capaces de llevar a cabo la función respiratoria.



El ciclo del carbono se inicia con la fijación del dióxido de carbono (CO_2) por parte de las plantas y ciertos tipos de bacterias capaces de realizar la fotosíntesis. En ese proceso, el CO_2 y el agua reaccionan dando origen a hidratos de carbono y liberando oxígeno. El CO_2 es restituido al aire por medio de la respiración de las plantas y de los animales y por el proceso de descomposición de detritus orgánicos en el terreno. Las combustiones industriales son otra fuente de CO_2, mientras que la formación de hidratos de carbono por las algas del mar y los procesos de fosilización de la materia orgánica, donde se forman carbón y petróleo, sustraen carbono del ciclo. A la derecha, balance de los intercambios anuales del carbono entre las distintas fuentes.



CIRCULACION DEL CARBONO EN LA BIOSFERA (en miles de toneladas)

unan en una larga cadena para construir moléculas gigantescas, aunque dada la inestabilidad de tales cadenas generalmente se producen cadenas de carbono de distinta longitud. Esta capacidad se encuentra también, aunque de forma más limitada, en otros elementos, que nunca llegan a dar formas tan complejas y variadas como las que se pueden encontrar en las cadenas carbonadas.

Los compuestos orgánicos Las cadenas de carbono pueden ser cortas o largas, lineales, ramificadas o cíclicas (en forma de anillo). Las posibilidades que de esto se derivan son verdaderamente infinitas; por eso, los químicos están continuamente sintetizando en el laboratorio nuevos compuestos orgánicos.

Existe casi un millón de tipos diferentes de compuestos orgánicos, entre los que podemos citar: todos los combustibles, especialmente el petróleo y sus derivados; los lubricantes; los barnices y lacas; los tejidos naturales como el algodón, la seda y la lana; los tejidos sintéticos como el nilon, orlón y dracón; las pieles; los colorantes sintéticos y naturales; los fungicidas e insecticidas; los perfumes y cosméticos; los materiales elásticos (llamados *elastómetros*), que comprenden las gomas sintéticas y naturales, las resinas, los plásticos y los adhesivos; el cartón, el papel y la madera; los explosivos; el asfalto y el alquitrán; las sustancias aromatizantes; los jabones y detergentes; los productos alimenticios, excepto los minerales y el agua; los disolventes comunes, excepto el agua. En otras palabras: los compuestos orgánicos están en todo lo que vemos, tocamos, usamos y comemos. De hecho, una rama entera de la ciencia, la *Química orgánica*, se dedica exclusivamente al estudio de los compuestos del carbono y a sus aplicaciones.

El carbono es importante también porque permite determinar ciertos parámetros. Muchos elementos, aunque no todos, pueden existir bajo distintas formas que difieren en su peso atómico, a las cuales se llama *isótopos*. El carbono tiene siete

de una disposición regular y compacta de las moléculas del carbono.

La utilización que se hace del carbono amorfo es totalmente diversa. La superficie de un trozo de carbón es desigual y porosa debido a la irregularidad de su estructura, mientras que un diamante ofrece una superficie lisa y regular. De esta forma, un trozo de carbón de 2,5 × 6,2 cm² tendrá una superficie 170 veces mayor que un diamante de las mismas dimensiones. Esta superficie irregular permite al carbono realizar el proceso de *absorción*, básico en la industria química, para el cual el carbono es el material más adecuado. El proceso de absorción se produce al adherirse las moléculas de líquidos y gases, en una capa extremadamente fina, a su superficie extensa e irregular. Además de ser útil a los químicos, la absorción del carbono tiene otros muchos usos prácticos en la industria: desde servir como filtro para obtener un vino más limpio hasta luchar contra la contaminación producida por los vertidos industriales.

Sin embargo, el carbono no cumple sus funciones más importantes en forma de elemento puro sino en combinación con otros muchos elementos, especialmente oxígeno e hidrógeno, dando lugar a casi un millón de compuestos. Estos se denominan compuestos *orgánicos* porque sus moléculas predominan en los tejidos orgánicos animales y vegetales. De esa forma, el carbono puede combinarse con elementos gaseosos: oxígeno, nitrógeno y cloro; con elementos no metálicos como el azufre y el silicio y también con algunos elementos metálicos, como el sodio.

Otros compuestos están formados por carbono, hidrógeno y nitrógeno (aminas), carbono y nitrógeno (cianuros), carbono, hidrógeno y azufre (compuestos orgánicos sulfurados), carbono, hidrógeno, azufre y oxígeno (compuestos orgánicos sulfatados), siendo muchas más las posibles combinaciones.

La razón principal por la cual el carbono puede combinarse en todas esas formas reside en el hecho de que tiene un notable número de propiedades químicas que no poseen otros elementos. La más importante entre ellas es la capacidad de los átomos de carbono para unirse entre sí. Esta propiedad permite que un número teóricamente ilimitado de átomos se

de estos isótopos, y uno de ellos, el carbono-12 (lo que significa que su peso atómico es 12), sirve como patrón para la determinación del peso atómico de los elementos. El carbono-14, otro de los isótopos del carbono, es radiactivo. Como sabemos, la cantidad de radiactividad que emite un elemento va disminuyendo con el tiempo, con lo cual si medimos la radiación actual de un isótopo y conocemos la cantidad inicial de radiación y la curva de caída, podemos conocer en qué momento se incorporó dicho isótopo al objeto que estudiamos. Dada la abundancia del carbono-14 y la constancia de su proporción con respecto a los otros isótopos del carbono, se utiliza en la actualidad para determinar la edad de restos antiguos y prehistóricos que tengan átomos de carbono en su composición.



Más resistentes que el acero y con la mitad de peso, los materiales compuestos formados por tramas de fibras de carbono han visto aumentar su aplicación en el campo aeronáutico. Se elaboran calentando hilos de poliacrilonitrilo a 1.500 °C, impregnando con resinas epoxídicas las planchas de fibra así obtenidas, pudiéndose cortar y modelar según la forma deseada.

Un ciclo indispensable Es posible que el hecho más importante en toda la Biología sea el *ciclo del carbono*. Este ciclo hace posible el intercambio de materia entre plantas y animales vivos (incluido el hombre) y el ambiente no-vivo o inerte que los rodea. Todos los seres vivos están hechos de material proveniente de su ambiente.

Para que la vida pueda continuar, debe establecerse un intercambio constante entre los seres vivos y el medio. Podemos considerarlo como un proceso de reciclaje: mientras las células viejas mueren y su materia desintegrada se reincorpora al medio, nuevas células se están formando y adquiriendo del ambiente externo las sustancias necesarias para su supervivencia.

El carbono, el elemento más importante para el proceso vital, entra en el ciclo en forma de dióxido de carbono del aire (o también del agua, pues es necesario a ciertos seres vivos que en ella habitan).

Una de las características más notables de la Naturaleza es la forma en que los compuestos relativamente sencillos del carbono contribuyen a construir moléculas enormemente complejas que son la base fundamental de la vida; y esto viene casi totalmente realizado a través de la fotosíntesis, proceso en el que las plantas verdes sintetizan hidratos de carbono a partir del agua y del dióxido de carbono del aire, en una serie de reacciones cuya energía es aportada por el Sol.

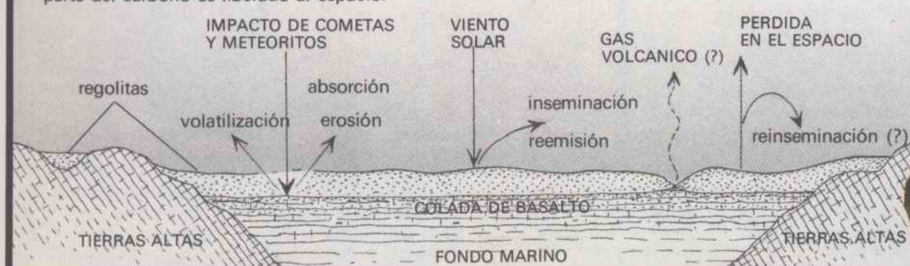
Las plantas verdes utilizan esos hidratos de carbono para sintetizar en sus células moléculas como celulosa, grasas, proteínas, ácidos nucleicos, etcétera.

Cuando se oxidan los hidratos de carbono en el interior de las células animales o vegetales, liberan la energía acumulada en sus enlaces químicos. Parte de esa energía es utilizada para otras reacciones que entran a formar parte del ciclo del carbono, y el proceso se renueva constantemente, sin interrupción. A través de él, la vida se ha desarrollado desde el principio, y mientras haya vida en el Universo seguirá realizándose.

Véase **Datación por carbono 14; Enlace químico y valencia; Fotosíntesis; Glúcidos; Química orgánica**

EL CARBONO EN LA SUPERFICIE LUNAR

En la superficie de la Luna, el carbono está presente principalmente en el suelo correspondiente a los llamados *mares*. Ese carbono procede en parte de fuentes externas, como los meteoritos, cometas y viento solar, y en parte de fuentes internas, como las erupciones volcánicas que se produjeron en los primeros momentos de la formación de nuestro satélite. Como la atmósfera lunar está enrarecida, parte del carbono es liberado al espacio.





Cardiología

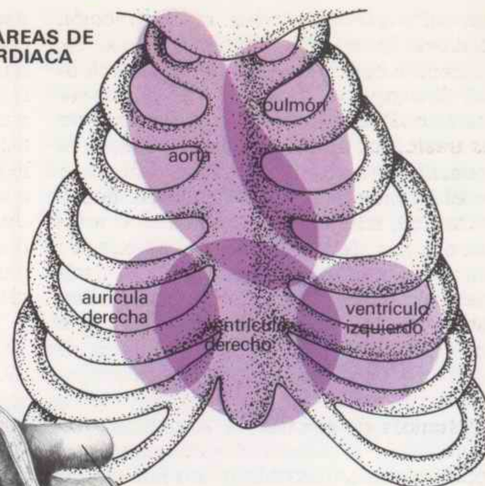
Un hombre se arrodilla y escucha el latido del corazón de otro hombre tendido en el suelo. Esta dramática escena que las películas, programas de televisión y periódicos nos han hecho familiar puede ser reconocida también en una escultura japonesa de comienzos del siglo VIII. Multitud de objetos y documentos de épocas precedentes atestiguan que los pueblos antiguos relacionaban el fluir de la sangre en nuestro cuerpo con el mantenimiento de la vida.

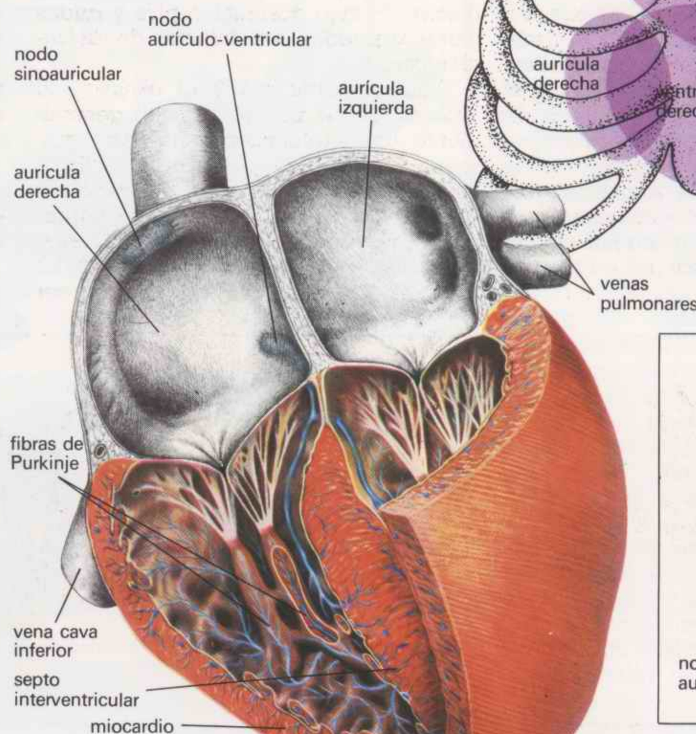
La descripción del sistema de la circulación de la sangre a través de las arterias, las venas y sus ramificaciones más delgadas gracias al impulso que recibe del corazón tuvo lugar mucho más tarde, alrededor del año 1620. El médico inglés William Harvey contribuyó considerablemente al progreso de la Medicina con su teoría de la circulación de la sangre, basada en el hecho de que las válvulas venosas se abren únicamente en dirección hacia el corazón. En la actualidad se considera a Harvey como el fundador de una importante rama de la Medicina que estudia el corazón y el sistema circulatorio: la Cardiología.

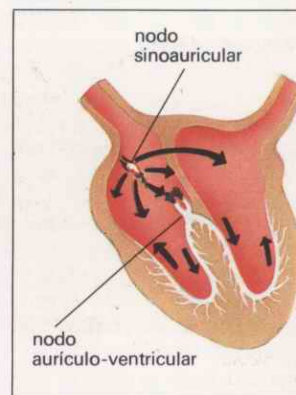
Durante los siglos que transcurrieron tras el descubrimiento de Harvey, los conocimientos sobre la circulación no progresaron de modo uniforme, acelerándose de forma cada vez mayor a partir del comienzo del presente siglo. Al mismo tiempo, en los países más industrializados se ha producido una reducción en la incidencia de muchas enfermedades infecciosas y un incremento en la incidencia de cardiopatías. El primero de estos dos hechos se debe al mejoramiento de las condiciones de vida desde el punto de vista higiénico. El segundo deriva, con toda seguridad, del surgimiento de otros factores nocivos. Las enfermedades cardiocirculatorias constituyen actualmente el más grave problema sanitario de los países desarrollados.

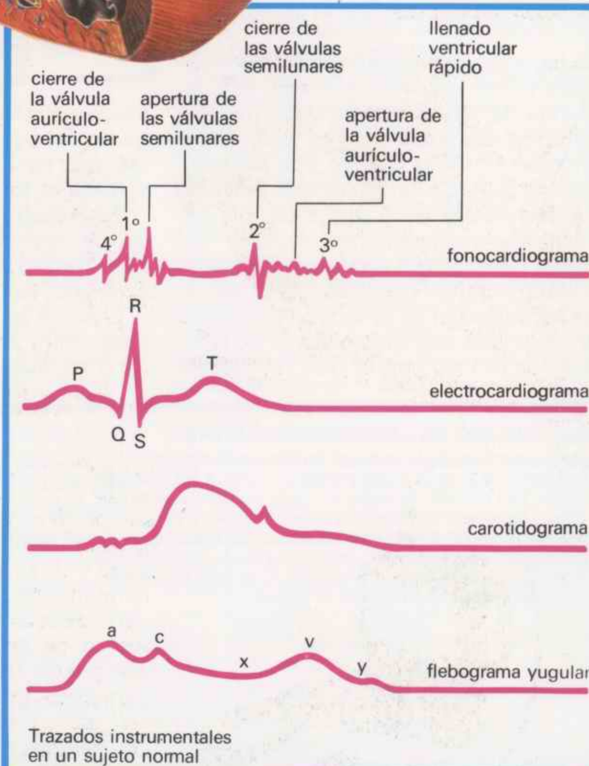
En 1920 fue fundada la especialidad médica conocida con el nombre de *Cardiología*, cuyos especialistas se reúnen hoy en sociedades internacionales. Numerosos laboratorios y hospitales, utilizando fondos tanto públicos como privados, llevan a cabo trabajos de investigación en este campo de la Medicina.

Diagnóstico El principal cometido del cardiólogo es el diagnóstico de los eventuales trastornos cardiacos. El cardiólogo realiza el historial clínico del paciente (anamnesis), prestando una atención especial a los síntomas más comunes de las enfermedades cardiacas, como son el dolor de pecho, la fatiga, las palpitaciones y la sensación de pérdida del conocimiento. En la exploración del paciente, el cardiólogo debe buscar aquellos síntomas que pueden relacionarse con anomalías o lesiones de las varias partes que constituyen el corazón: la membrana que circunda el corazón (pericardio), las cuatro válvulas cardiacas, el tejido muscular, las fibras especializadas en la conducción del









Arriba, sección que muestra el sistema de conducción del corazón. La difusión de la excitación de las fibras musculares cardiacas desde las aurículas a los ventrículos está asegurada por un tejido muscular específico. Aquí a la derecha, diversos trazados instrumentales en un sujeto normal, que mantienen la relación cronológica entre ellos. El *carotidograma* y el *flebograma* sirven como puntos de referencia para otras investigaciones desde el punto de vista del registro fono y electrocardiográfico. En la secuencia del centro: en esta página, origen y transmisión del impulso nervioso en el nodo sinoauricular, que origina el impulso que llega al nodo aurículo-ventricular, desde el cual alcanza el fascículo de His y se distribuye a las fibras de Purkinje; en la página siguiente, fases de la contracción cardiaca y del impulso de la sangre. Debajo, imagen que muestra cómo pueden propagarse desde el nodo sinoauricular estímulos que son causa de arritmias cardiacas: a la izquierda, en el caso de la bradicardia sinusal; a la derecha, en el caso de taquicardia sinusal. Por último, abajo, dispositivo para electrocardiografía continuada (Holter).

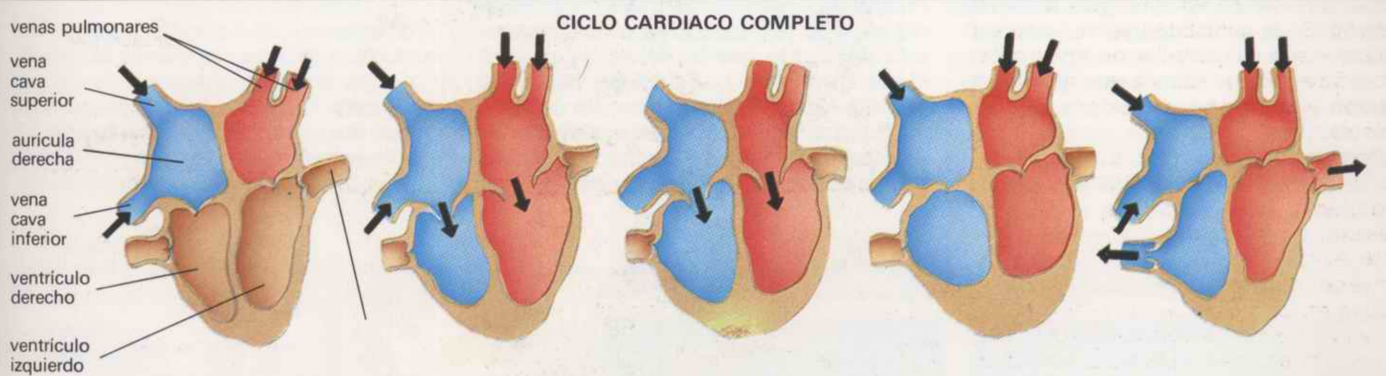
estímulo que determina la contracción cardiaca. El músculo cardiaco puede sufrir daño a consecuencia de un insuficiente flujo sanguíneo por las arterias coronarias, lo cual es la causa más importante de los trastornos cardiacos. Además de esta anomalía, otras condiciones pueden influir en el funcionamiento del corazón: fiebre reumática, infecciones, hipertensión arterial, etc. Las afecciones cardíacas pueden ser congénitas (existentes desde el nacimiento) o adquiridas. Tales afecciones son estudiadas por el cardiólogo mediante dos tipos de exámenes: cruentos y no cruentos.

Técnicas de examen Las *técnicas de examen no cruentas* (incruentas) son aquellas que un cardiólogo puede aplicar desde el exterior sin penetrar en el aparato circulatorio del paciente. Durante ese examen el cardiólogo buscará venas engrosadas, palpará las pulsaciones en varias arterias y verificará la situación general del cuerpo. El método no cruento más común consiste en la auscultación del latido cardiaco a través de un estetoscopio. El sonido de un corazón sano está provocado por la aceleración y deceleración del flujo sanguíneo en las cavidades cardiacas. Un flujo desigual, soplos y ruidos extraños pueden ser síntomas de disfunción cardiaca.

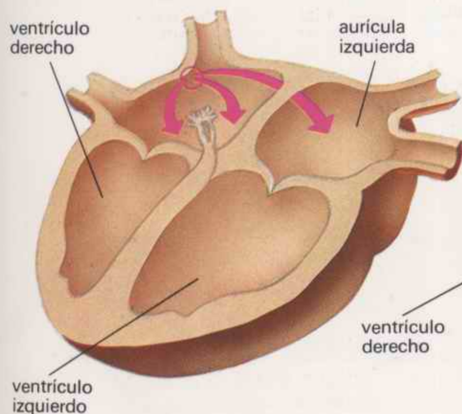
Tras la anamnesis y el examen no cruento, el cardiólogo solicita, generalmente, una exploración radiológica, gracias a la cual obtiene una imagen básica de las sombras de los órganos alojados en el tórax. Uno de los hallazgos más importantes que pueden resultar de este examen es saber si existe agrandamiento del corazón. Tal agrandamiento podría ser causado por un trabajo excesivo (hiperactividad) del corazón, que trata de compensar las disfunciones del tejido muscular anómalo o bien las anomalías de las válvulas o de los vasos sanguíneos. El agrandamiento de una parte específica del corazón puede dar una indicación valorable acerca de la parte del corazón dañada, que puede ser, por ejemplo, alguna zona caracterizada por la presencia de depósitos calcificados, similares al tejido óseo. Una técnica especial mediante la utilización de los rayos X es la fluoroscopia, con la que se logra la proyección sobre una pantalla fluorescente de la imagen en movimiento del corazón; esta técnica es particularmente útil para identificar depósitos calcificados y para detectar la inmovilidad anormal de áreas de tejido cardiaco que pueden haber sufrido un infarto.

Entre las exploraciones incruentas, tal vez la más conocida sea el *electrocardiograma* (ECG). Los electrodos del electrocardiógrafo, que se colocan en las muñecas, tobillos y en el tórax del paciente, son capaces de registrar la actividad eléctrica del corazón, ya que pueden percibir la actividad eléctrica que se difunde a través del músculo cardiaco para producir su contracción. Las sucesivas variaciones en la corriente eléctrica cardíaca que ocurren durante el latido del corazón son registradas sobre un papel.

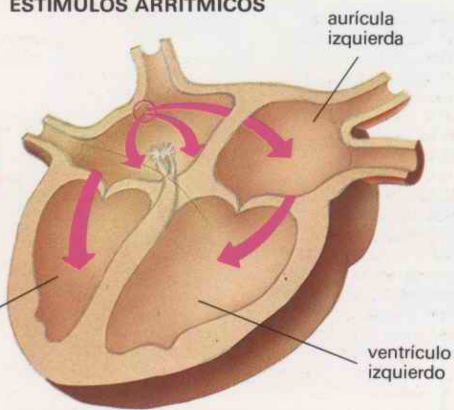
La *prueba de esfuerzo* consiste en registrar el electrocardiograma mientras que el paciente lleva a cabo un esfuerzo físico (por ejemplo, sobre una bicicleta ergométrica). Con los resultados del electrocardiograma, unidos a la medida de la presión sanguínea y a la duración de la actividad a la cual es capaz de someterse el paciente, el cardiólogo puede hacerse una idea del rendimiento del corazón durante el esfuerzo.



ESTIMULOS NORMALES



ESTIMULOS ARRITMICOS





La *ecocardiografía* suministra una imagen del movimiento de las válvulas y de las contracciones de las paredes musculares del corazón. Esta exploración consiste en dirigir al corazón ondas sonoras de frecuencia muy alta y registrar posteriormente el tiempo necesario para el retorno de tales ondas, es decir, el eco, exactamente del mismo modo en que opera el sonar de un submarino. Con la información proporcionada por la ecografía es posible construir una imagen del interior del corazón.

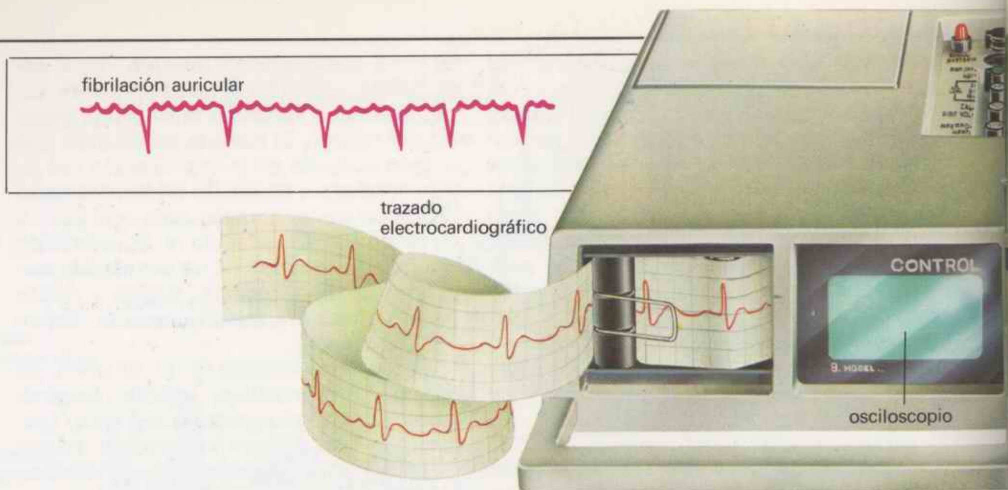
Las *técnicas de exploración cruentas*, así llamadas porque en ellas "se penetra" en el cuerpo del paciente, implican un mayor riesgo y se utilizan únicamente cuando la necesidad de información diagnóstica justifica tal riesgo.

El *cateterismo* cardiaco puede considerarse el procedimiento más usado: este método consiste en la introducción de un tubo largo y delgado, denominado *catéter*, en una vena o en una arteria con objeto de llevarlo hasta el corazón. El catéter se llena de un fluido, de manera que, cuando aumenta la presión en el interior del corazón, el fluido del tubo experimenta un desplazamiento hacia atrás. En el extremo ex-

terno del catéter se instala un medidor de presión que registra los aumentos y disminuciones de la presión en el corazón y en los vasos sanguíneos. Estos valores se encuentran dentro de ciertos parámetros en las personas sanas; los pacientes cuyos valores excedan significativamente a los normales sufrirán un cierto tipo de enfermedad según la zona cardiaca de alteración en la presión.

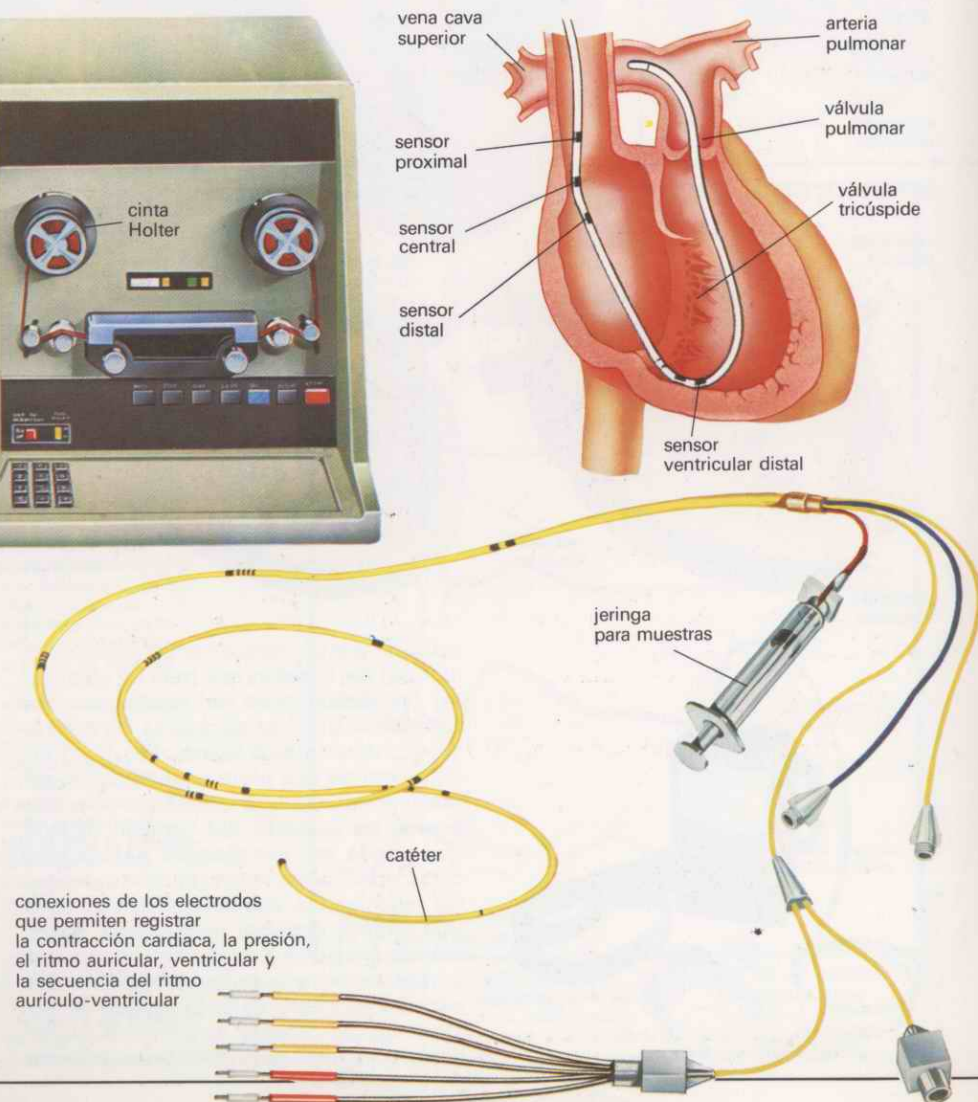
La *angiografía*, otra técnica cruenta, consiste en la inyección en el corazón, o en algunas arterias o venas, de una sustancia generalmente rica en yodo. Dado que el yodo es capaz de detener el paso de los rayos X a causa de su elevado número atómico, en una radiografía ese elemento resultará opaco y evidente como los huesos. Por este motivo, por medio de la angiografía puede estudiarse el recorrido de la sangre a través del corazón y de los vasos sanguíneos. La angiografía coronaria consiste en la inyección directa de un medio de contraste en los vasos sanguíneos que irrigan el corazón; su objetivo es evidenciar estrechamientos o bloqueos de la arterias coronarias, fenómenos característicos de la cardiopatía isquémica.

Los catéteres pueden estar provistos de electrodos metálicos en una extremidad, y unidos a un conductor por la extremidad opuesta. De esta manera es posible realizar un electrocardiograma del interior del corazón, obteniendo así informaciones más detalladas que las que proporciona el electrocardiograma de superficie. Este procedimiento entra de lleno en el campo de una ulterior especialización médica, la electrofisiología. De modo análogo, catéteres similares provistos de electrodos pueden ser utilizados para enviar impulsos eléctricos al corazón y controlar así el latido cardiaco.

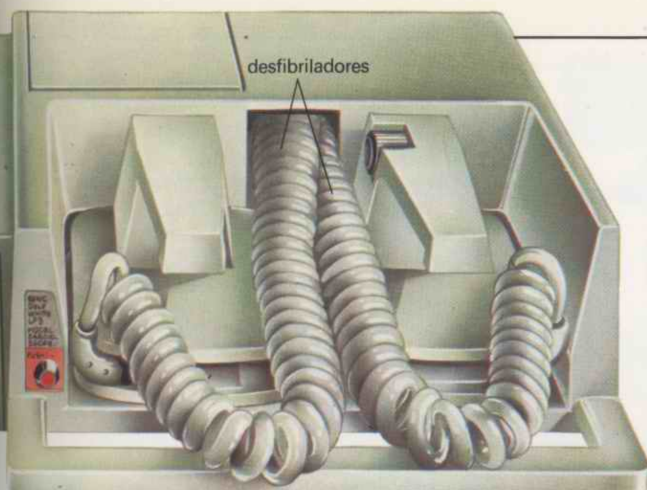


Tratamiento El tratamiento de las enfermedades del corazón puede ser médico o quirúrgico. El cardiólogo trabaja en cooperación con el cirujano cuando es necesaria una intervención quirúrgica. El cardiólogo generalmente hace el diagnóstico y la prescripción de tratamientos no





Arriba, dispositivo para el análisis del electrocardiograma del examen Holter. Tal examen ha producido un trazado compacto, que se introduce en este aparato. El aparato analiza la totalidad del trazado, desecha las zonas de escaso interés y amplifica las más importantes. Estas se presentan bajo la pantalla oscilográfica. A la derecha: arriba, sección del corazón en la que se aprecia la penetración final de la sonda que se ha introducido por una vena. En la figura se observa que la parte terminal de la sonda contiene unos sensores, cada uno de los cuales está dedicado a la detección de un parámetro local. Este catéter está formado no sólo por los cables de la sonda, sino también por un delgado tubo gracias al cual es posible efectuar una toma de muestras sanguíneas incluso en las venas pulmonares. Abajo, sonda completa: toda la parte que se introduce hasta el corazón está a la izquierda; a la derecha, la jeringa para las muestras de sangre, y los cables para la recepción de las señales eléctricas que envían los sensores.



A la izquierda, instrumento portátil y de alimentación eléctrica independiente para la obtención de un trazado electrocardiográfico. Se observa también un trazado en papel con una parte ya escrita. El trazado puede ser también seguido por su constante aparición en la pantalla del osciloscopio (el papel hará su aparición algunos segundos más tarde). A su derecha, una unidad que se conecta a la anterior y que posee dos desfibriladores.

quirúrgicos, señalando los medicamentos que deben administrarse al paciente, mientras que la cirugía cardiaca es practicada por cirujanos especializados.

Una gran parte de la terapéutica prescrita por el cardiólogo consiste en "consejos". El cardiólogo recomienda normalmente algunas normas muy simples: no fumar, limitar la ingestión de grasas de origen animal y de sal, hacer ejercicio físico y no aumentar excesivamente de peso.

La otra parte importante de la terapéutica médica consiste en el uso de fármacos. Algunos, como la penicilina, se usan para prevenir o para vencer algunas enfermedades, como la sífilis y la fiebre reumática, que pueden afectar al corazón y a los vasos sanguíneos.

Los fármacos antiarrítmicos se utilizan para mantener regular el ritmo de los latidos cardiacos. Estos fármacos actúan acelerando o disminuyendo la conducción eléctrica a través del corazón. Los digitálicos —medicamentos obtenidos originariamente de una planta— incrementan la fuerza de las contracciones cardiacas y, por lo tanto, aumentan la cantidad de sangre que fluye del corazón. También pueden prescribirse estos fármacos en algunos casos de arritmias cardiacas caracterizadas por latidos irregulares. La nitroglicerina y sustancias derivadas se utilizan para dilatar los vasos sanguíneos, incluidas las coronarias, y prevenir los ataques de angina de pecho. Algunos fármacos, como los bloqueantes de receptores beta, actúan de modo que hacen que el corazón lata con menor fuerza y consuma menos oxígeno y sustancias nutritivas. Otros medicamentos se pueden emplear para aumentar o disminuir la presión sanguínea. Una gran parte del trabajo del cardiólogo consiste precisamente en elegir el fármaco o la combinación de fármacos más adecuados a un paciente concreto.

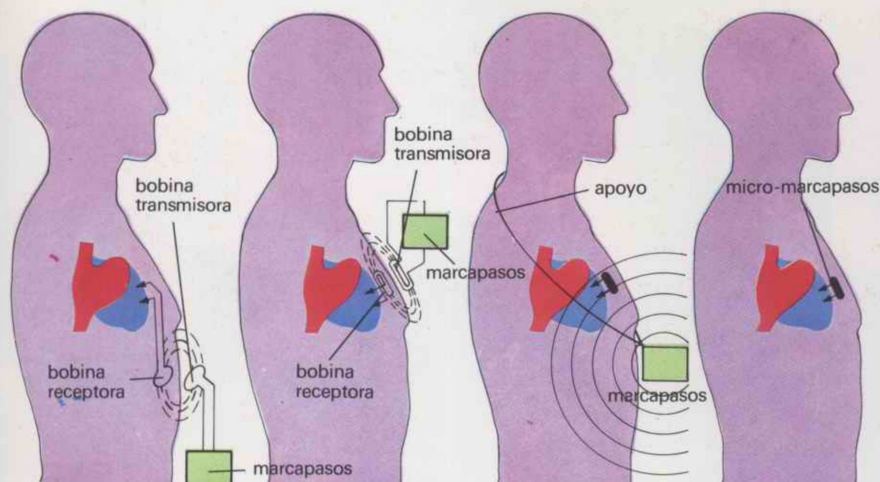
La *parada cardiaca*, la interrupción de la conducción eléctrica, puede tratarse insertando un marcapasos, es decir, un sistema de electrodos alimentados por una batería. Para algunos marcapasos la batería se sitúa bajo el abdomen; en otros, bajo la piel de la axila o del tórax. Los conductores pueden ser dirigidos al corazón a través de una vena, o unidos directamente al músculo cardiaco mediante una intervención quirúrgica.

La cirugía cardiaca se ha desarrollado considerablemente a partir de los años sesenta, cuando se perfeccionaron las máquinas corazón-pulmón. Estas máquinas pueden bombear temporalmente la sangre durante la intervención quirúrgica, de modo que el cardiocirujano puede detener el funcionamiento del corazón con objeto de sustituir las partes dañadas por prótesis artificiales, extirpar áreas del músculo cardiaco que presenten necrosis o llevar a cabo cualquier tipo de operación necesaria para reparar eventuales daños estructurales del corazón.

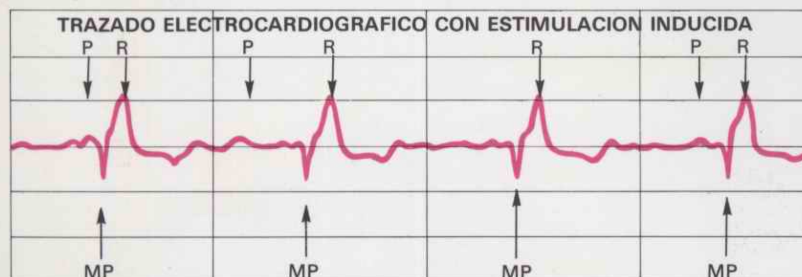
El primer trasplante cardiaco fue realizado por Christian Barnard en Ciudad del Cabo en 1967; el trasplante ha sido posteriormente repetido con más o menos éxito centenares de veces. Las posibilidades de vida de los pacientes sometidos a trasplante cardiaco no son todavía demasiado amplias, pero las continuas investigaciones incrementan la esperanza de mayores éxitos en el futuro.

Por otro lado, el período de convalecencia que sigue a una intervención quirúrgica o a un ataque cardiaco está también sufriendo variaciones; actualmente se prescriben períodos de reposo mucho más breves y programas de ejercicios físicos. Considerando todos estos aspectos, desde el diagnóstico a la terapéutica y a la investigación experimental, la Cardiología se encuentra actualmente entre los sectores más dinámicos de la Medicina.

EVOLUCION DE LOS ESTIMULADORES CARDIACOS



Abajo, trazado de la onda debida a la estimulación por el instrumento. Arriba, de izquierda a derecha: en el paciente se ha implantado una bobina receptora que transmite y recibe información desde un aparato externo.
En el segundo modelo, la bobina transmisora es más pequeña y puede llevarse cerca del corazón. En el tercer modelo, el marcapasos emite una señal tan fuerte que puede llevarse incluso a una cómoda distancia. Por último, la disminución del tamaño lograda y una alimentación interna permiten el injerto total.



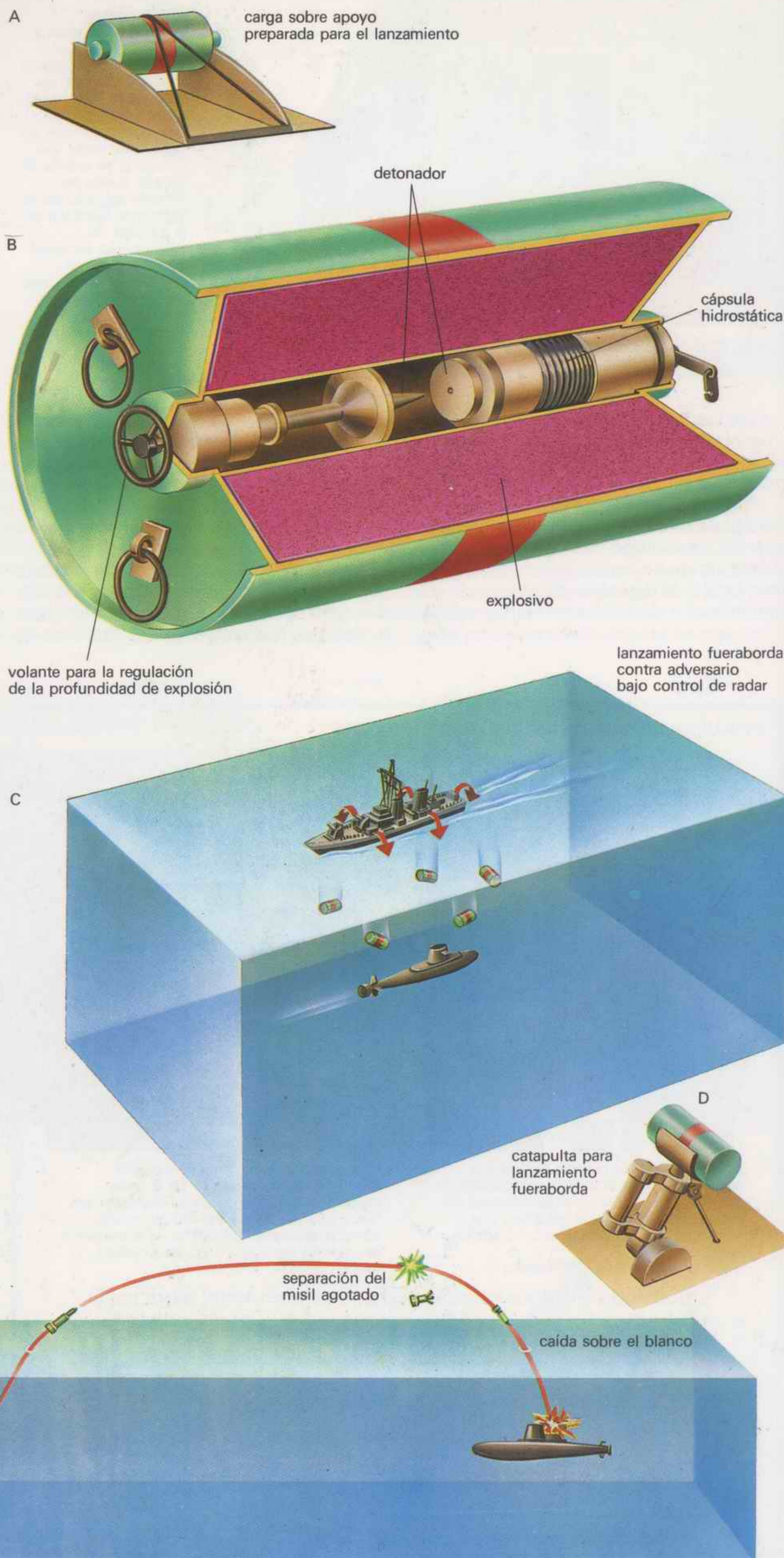
MP=onda debida a la estimulación del marcapasos

Véase **Cirugía; Corazón; Marcapasos; Sangre y grupos sanguíneos; Trasplante de órganos**

Cargas de profundidad

El acontecimiento naval más importante de la I Guerra Mundial fue el empleo generalizado de los sumergibles. En febrero de 1915, Alemania anunció que utilizaría los "U-boot" para activar el bloqueo de Gran Bretaña y en mayo hundió el *Lusitania,* un transatlántico comercial que llevaba unos 1.200 pasajeros. En un solo mes de guerra fueron destruidas casi un millón de toneladas de barcos aliados y de países neutrales. Era absolutamente necesario hacer algo. El 16 de julio de 1916 un buque inglés de patrulla descubrió un "U-boot" sumergido y lo destruyó con una nueva arma antisumergibles —la *carga de profundidad*—, que constituyó el comienzo del fin para la flota de submarinos alemanes. La carga de profundidad desempeñó un papel importantísimo en los dos conflictos mundiales como el más eficaz antídoto para los tan peligrosos sumergibles, pero a su vez ha impulsado progresos tecnológicos como la introducción de los modernos misiles balísticos submarinos y los sumergibles de energía nuclear en el período postbélico.

Carga de profundidad convencional Con una gama de dimensiones que va desde cajas cilíndricas de metal de tamaño de un bote de café hasta dispositivos en forma de bomba de 1 m de longitud, los primitivos ejemplares de carga de profundidad funcionaban según principios similares: explosionaban bajo el agua y a una profundidad predeterminada. La carga de profundidad convencional empleada en los conflictos mundiales era comúnmente un recipiente cilíndrico (como un bidón de basuras) de 0,9 metros de longitud y 0,45 metros de diámetro, cargado con 275 kg de alto explosivo, generalmente trilita. Antes de que la carga fuera lanzada desde un buque, se regulaba la tensión de un muelle en el mecanismo de detonación, para que pudiera soportar cierta presión del agua, desde la de los fondos bajos (unos 15 metros) a la de los de mayor profundidad (90 metros aproximadamente). Mientras penetraba la carga en el mar, una pieza llamada *horquilla* era extraída automáticamente del detonador, armando la carga de la misma forma que se activan las granadas de mano cuando se tira del seguro. Mientras la carga se hundía, la presión del agua actuaba de manera que un pistón empujara en sentido contrario a la tensión del muelle. Cuando la



presión del agua superaba la tensión del muelle, el pistón se desenganchaba y un percutor situado en la extremidad del pistón golpeaba al detonador y sobrevenía la explosión. La energía potencial del explosivo químico se liberaba en el agua, bajo la forma de energía gaseosa en rápida expansión, produciendo violentos cambios en la presión del agua dentro del radio de la explosión.

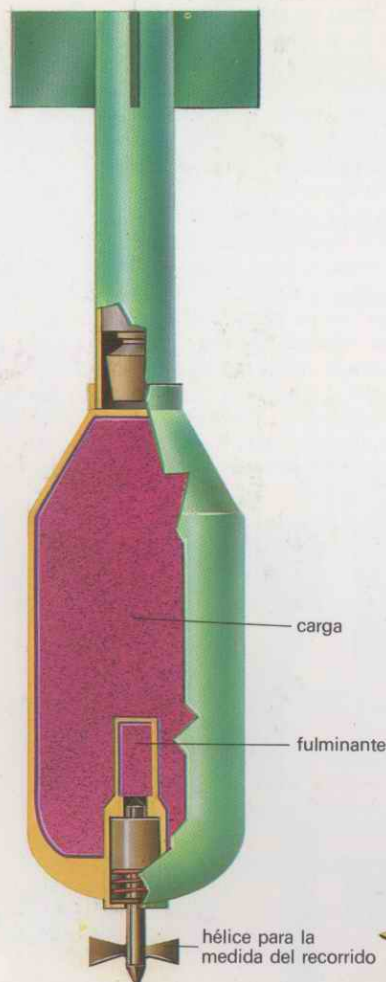
Utilizadas junto al sonar y al radar, las cargas de profundidad convencionales lanzadas por los cazatorpederos fueron las armas antisumergibles más eficaces durante la II Guerra Mundial. Hacia el fin de la guerra, apareció un nuevo tipo de carga de profundidad, denominado "Hedgehog", más mortífero aún que la carga convencional.

"Hedgehog" Las cargas "Hedgehog" eran pequeñas (unos 18 cm de longitud) y llevaban aproximadamente 14 kg de explosivo. Se las lanzaba desde la proa de un buque en grupos de 24 cargas que llegaban a la superficie del agua casi simultáneamente en una distribución circular. Cada carga disponía de un detonador de impacto (que debería funcionar al chocar con el blanco) y un mecanismo fulminante, sensible tan sólo a la presión hidrostática. Cuando una de las cargas chocaba con el blanco y explosionaba, creaba una fuerte presión hidrostática que bastaba para hacer explosionar también a las 23 cargas restantes.

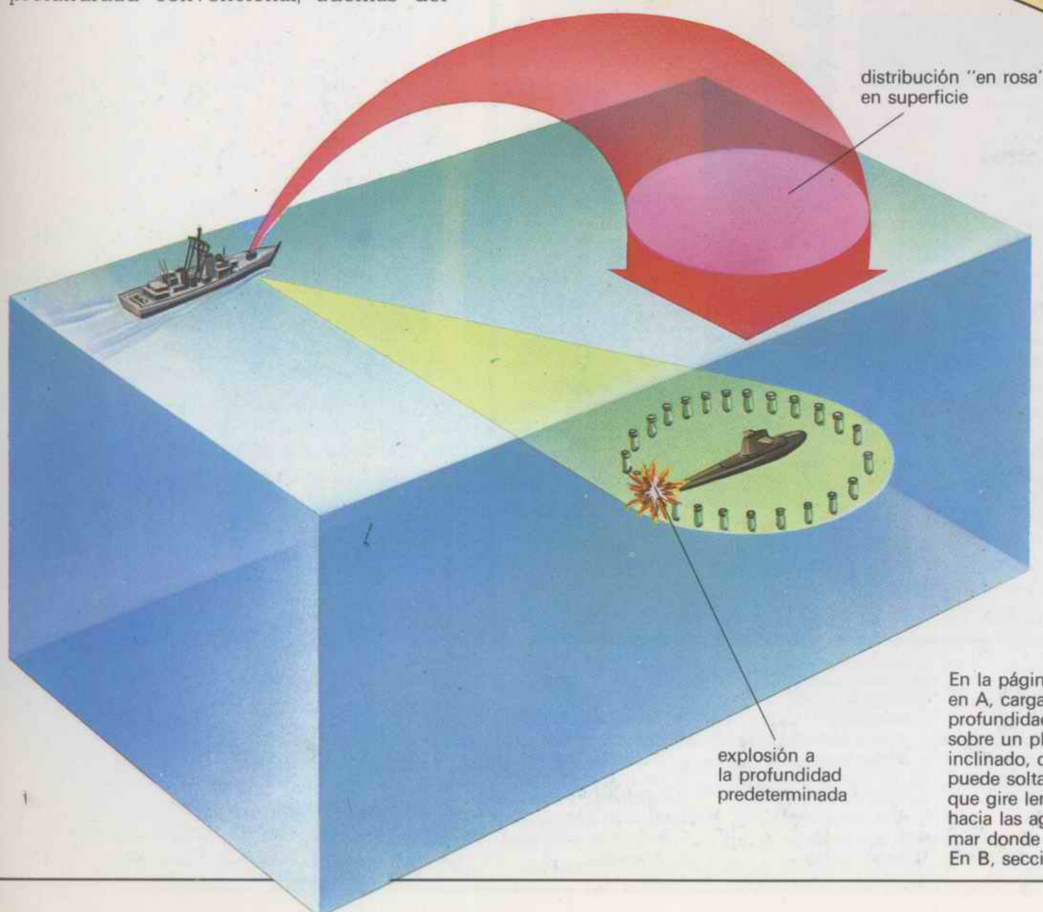
Las "Hedgehog" tenían otras dos grandes ventajas con respecto a la carga de profundidad convencional, además del enorme impacto de la explosión en cadena. Como la carga se lanzaba lejos de la nave atacante, la explosión no constituía ningún peligro para aquélla. Además, si las 24 cargas erraban el blanco, no había ninguna explosión, y por lo tanto el buque perseguidor podía continuar utilizando el sonar y el radar submarinos para localizarlo.

Las "Hedgehog" y similares cargas de profundidad han quedado anticuadas para la lucha con los modernos submarinos nucleares, que tienen dispositivos de exploración extraordinariamente sensibles, armas propias de alta potencia y suficiente velocidad para sustraerse a las trayectorias de las cargas de profundidad. Lanzadas desde aviones, buques de superficie o desde otros sumergibles, las cargas de profundidad actuales comprenden misiles balísticos, submarinos y tipos de torpedos autodirigidos que tienen poco en común con la carga de profundidad tradicional.

Véase **Submarino; Torpedos**







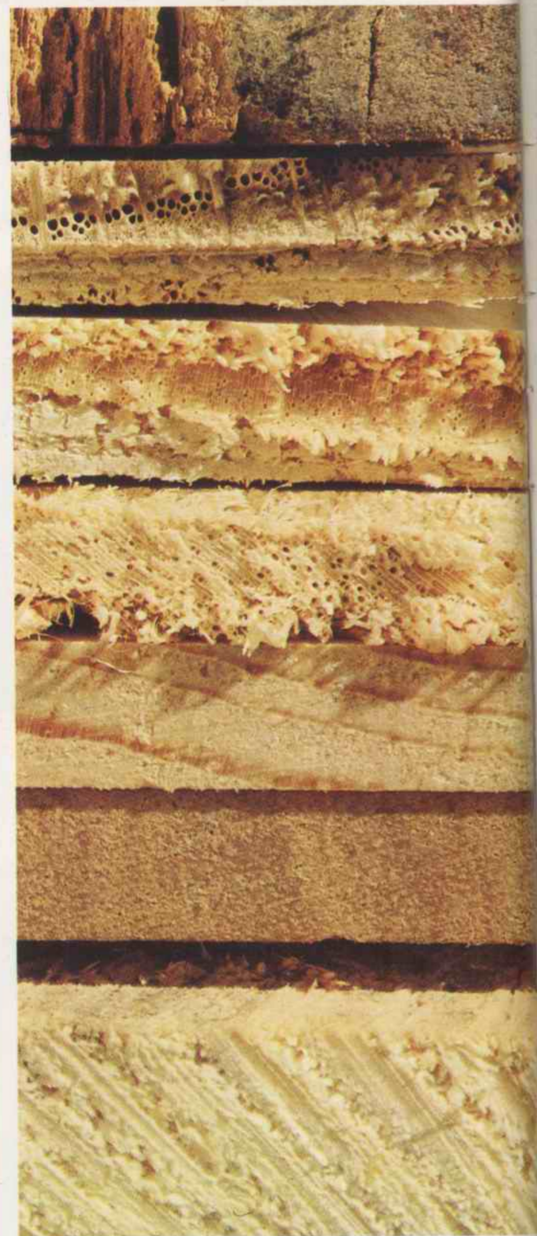
En la página anterior: en A, carga de profundidad fijada sobre un plano inclinado, del cual puede soltarse para que gire lentamente hacia las aguas del mar donde se hundirá. En B, sección de una carga de profundidad cilíndrica: el pequeño volante del eje sirve para regular la profundidad a que se desea que la carga explosione. En C, lanzamiento con catapulta de cargas de profundidad desde un cazatorpedero a lo largo de la presumible ruta de un submarino. En D, mecanismo de lanzamiento para arrojar cargas de profundidad. En E, lanzamiento de una bomba de profundidad por un submarino que le imprime una trayectoria balística fuera del agua por medio de un misil. En esta página: arriba, bomba de profundidad; a su derecha, lanzabombas; a la izquierda, lanzamiento de saturación alrededor del submarino enemigo.

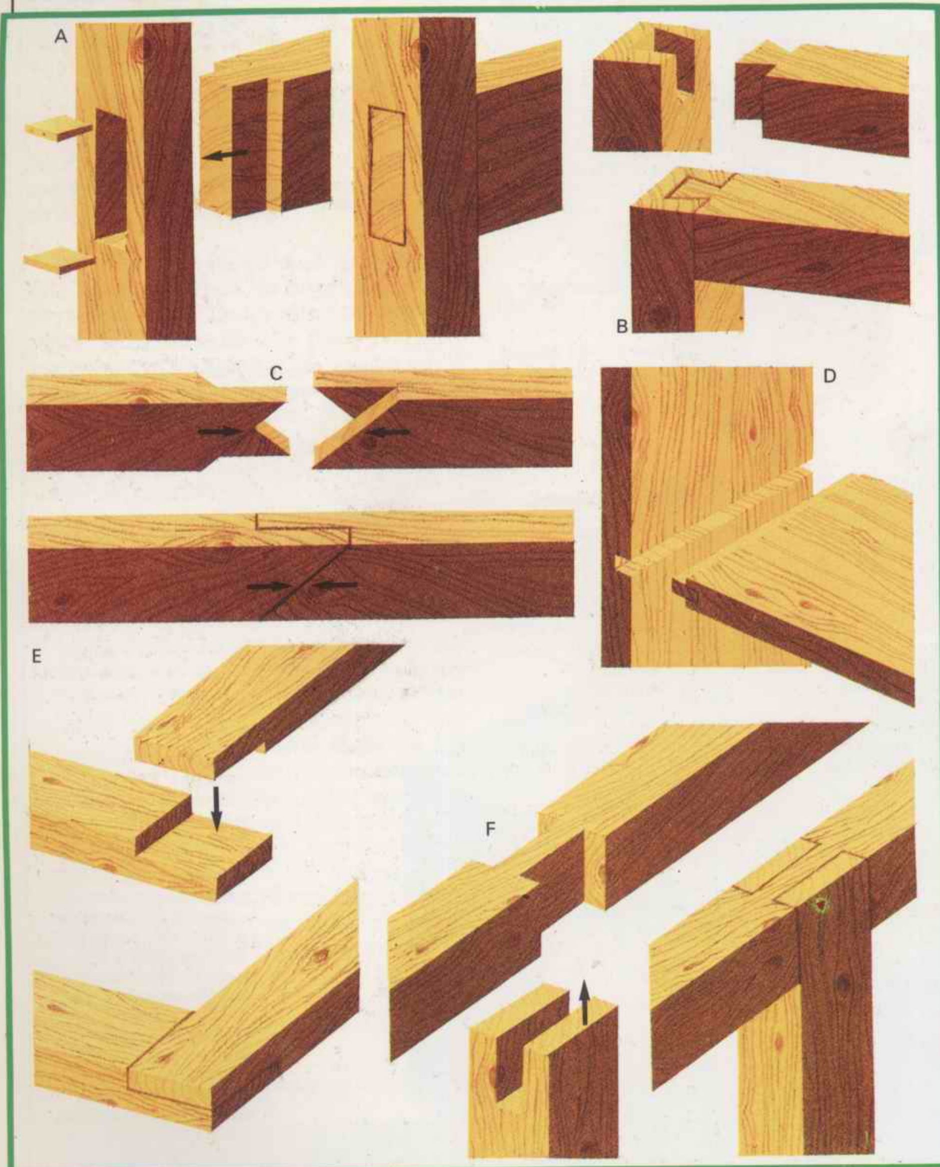
Carpintería

El trabajo de la madera se remonta a épocas prehistóricas, aunque, debido a su fácil deterioro, no se han conservado restos. Desde entonces y durante siglos los artesanos han utilizado la madera para fabricar muebles, barcos, carruajes y muchos otros productos, constituyendo también, hasta tiempos muy recientes, un elemento fundamental en las construcciones arquitectónicas. Aunque el modo en que los artesanos trabajan la madera no ha cambiado sustancialmente, sí se ha producido un importante desarrollo de las herramientas de que se sirven, con la introducción de máquinas que facilitan y agilizan las tareas —aserrado, cepillado, cortado, etc.— que hasta hace poco se realizaban a mano.

Cómo se sierra la madera Existen tipos muy variados de sierras, tanto manuales como de motor, destinadas a serrar la madera con cortes diferentes: *corte de testa* (transversal respecto a las fibras de la madera), *corte de testa oblicuo* (con ángulo vertical transversal respecto a las fibras), *corte al hilo* (con ángulo vertical según la fibra), *corte a ángulo* (diagonalmente a la fibra) y, finalmente, el *corte diagonal oblicuo* (con ángulo vertical diagonalmente a la fibra).

La sierra para cortes al hilo, utilizada para realizar cortes en la dirección de las fibras de la madera, posee dientes en posición alternada (uno dirigido hacia la derecha y el otro hacia la izquierda), de manera que cada diente hace que se desprenda una pequeña porción de madera a lo largo del corte. La sierra para corte tranversal, como su nombre indica, se utiliza para dar cortes transversales a las fibras. El serrucho de costilla, que tiene unos dientes muy finos, realiza cortes sutiles y precisos para las juntas. La segueta, utilizada en marquetería, tiene una chuchilla muy fina inserta en un bastidor, que es girada por el carpintero según el ángulo deseado, y se emplea, por tanto, para hacer curvas en la madera. La sierra eléctrica, con una cuchilla estrecha dirigida hacia abajo, se adapta a muchos usos, porque se puede utilizar a mano libre o manejarla de otra forma para los cortes más precisos requeridos en piezas muy elaboradas. La sierra circular o de mesa, que tiene (como su nombre indica) una cuchilla circular, corta al tiempo que realiza rápidas rotaciones en la madera. Es una de las sierras más utilizadas. En la sierra de cinta la hoja es una banda metálica flexible y continua que permite hacer cor-





En la fabricación de un mueble existen varias posibilidades de unir dos piezas: además de poder recurrir a clavos, tornillos y colas, hay toda una serie de ensambladuras de las que se representan arriba algunos ejemplos. Las ensambladuras forman parte de la gran familia de las llamadas "uniones de madera", es decir, las que basan la resistencia de la estructura en un conjunto de soportes y elementos de presión que deben estar adecuadamente construidos. A, ensamblaje de caja y espiga viva (consiste en un diente excavado en una de las dos piezas, la espiga, con una sede corespondiente en el otro pedazo, la caja); B, enlace de encuentro de cola de milano; C, horquilla simple; D, ranura y lengüeta; E, encuentro a media madera en ángulo; F, enlace de encuentro en horquilla.



El trabajo de la madera, de la que en la página anterior vemos distintos ejemplos, requiere herramientas específicas:
1. rasqueta;
2. espátula:
3. serrucho;
4. serrucho de rodear;
5. sierra de arco de marquetería;
6. serrucho de costilla;
7. caja para ingletes o guía para cortar ángulos;
8. escoplo de hoja recta;
9. tenazas;
10. martillo;
11. nivel de burbuja (corto);
12. nivel de burbuja;
13. barrena manual;
14. barrenas;
15. berbiquí;
16. taladro manual;
17. taladro manual;
18. destornillador de presión;
19. serie de puntas helicoidales;
20. taladro eléctrico;
21. destornillador;
22. diamante cortacristales;
23. metro plegable;
24. punzones;
25. lezna;
26. falsa escuadra;
27. escuadra;
28. brocha;
29. cepillo de cuerpo metálico;
30. cepillo de madera;
31. garlopa;
32. escofina;
33. mordaza o tornillo;
34. gato;
35. lápiz de carpintero.

Existe además toda una serie de modernas máquinas-herramientas más complejas que permiten una mayor facilidad y rapidez en la realización de cierta tareas concretas: regruesadoras, para obtener un espesor uniforme de la madera; fresadoras, para tallar bordes curvos; cepilladoras o planeadoras para trabajar piezas de madera y obtener ciertos cortes; lijadoras, consistentes en discos o bandas continuas a las que se adhiere papel de lija y con las que se consigue un buen acabado de la madera; mortajadoras; escruadradoras automáticas, etcétera.

tes muy precisos, en forma de curva o con dibujos de formas complejas. La sierra de brazo radial es una versión de la sierra circular, en la que el motor y la hoja se suspenden de un brazo sobre la mesa. El brazo tiene un giro de 360° y se fija en cualquier posición.

Juntas y molduras Entre las herramientas manuales utilizadas para contornear están las limas, escofinas, punzones para perforar, etc., y un instrumento que se asemeja a un cepillo con una cuchilla móvil que permite al carpintero hacer cortes curvos. El torneado de la madera, efectuado con una máquina llamada *torno*, es una operación en que se va quitando la viruta de la pieza que se trabaja; la madera se mantiene fija sobre un huso y se la hace girar contra un dispositivo cortante en movimiento.

El cepillado, operación que sirve para eliminar las irregularidades de la superficie de la madera, dejarla bien lisa y a veces disminuir algo su dimensión, puede hacerse con un cepillo manual, que no es más que una cuchilla dentro de una funda protectora que el artesano pasa repetidas veces presionando contra la superficie. La profundidad del cepillado puede regularse con un tornillo de cabeza plana, que se hace girar para que la cuchilla sobresalga más del cepillo y obtener así un cepillado más profundo, o levantarla para un cepillado más superficial.

El escoplo se utiliza para abrir en la madera cajas y espigas para las ensambladuras, de manera que las piezas "macho" y "hembra" acoplen perfectamente.

Muchos trabajos correspondientes a la ejecución de juntas y molduras pueden realizarse mediante una máquina muy versátil conocida con el nombre de *acanalador*, un potente instrumento que (como el taladro eléctrico) consiste en un motor unido a una mordaza para poder disponer en él puntas o utensilios diversos según el trabajo que se esté ejecutando. La base del acanalador se apoya en la madera, y las puntas pueden seguir cualquier forma: desde las juntas de machihembrado (acanaladuras en forma de *L* según el borde de la madera) hasta las de cola de milano (juntas de cortes muy definidos, en forma de *U*, con los lados vueltos ligeramente hacia dentro).

Uniones y acabado La unión entre dos piezas de madera se puede hacer mediante clavos, tornillos o cola. Los taladros pueden realizarse manualmente o con máquinas taladradoras eléctricas.

Otros útiles de carpintería son las lijadoras, las fresadoras, las mortajadoras, etc. Aunque el trabajo de carpintería se ha hecho más fácil desde que se incorporaron todas esas máquinas, la calidad del acabado del producto depende todavía de la habilidad y el cuidado del carpintero.

Véase **Ebanistería**

Carros de combate

No mucho tiempo después de la fabricación de los primeros automóviles en el último cuarto del siglo XIX, nuevos vehículos de propulsión propia se adaptaron a fines militares. En 1904, Prusia y Austria habían creado ya los primeros prototipos de carro de combate, dotados de afustes giratorios para ametralladora. Vinieron después los vehículos acorazados de combate (AFV), que se movían con una tracción por cadenas (cadenas compuestas de eslabones metálicos, impulsadas por ruedas) derivada de la de los tractores agrícolas contemporáneos. La estancada guerra de trincheras del primer conflicto mundial dio el verdadero impulso al desarrollo del vehículo acorazado. La inmovilidad de tres años en el frente occidental, con sus onerosas pérdidas de hombres para ganar pocos kilómetros, hizo indispensable la existencia de una artillería móvil que tuviera no sólo una protección acorazada contra el fuego enemigo, sino que pudiera también recorrer terrenos accidentados, superar obstáculos como alambradas y trincheras fortificadas y destruir armas y puestos de mando lejanos. El primer vehículo armado sobre cadenas, el *Mark 1* británico, fue utilizado por los ingleses en la ofensiva del Somme en 1916. Estos nuevos ingenios fueron denominados *tanks* (tanques), pues con objeto de mantener el secreto se fabricaron por partes en diversas factorías, atribuyéndoseles la finalidad de ser destinados a la construcción de tanques o depósitos de agua. Más tarde se les denominó "carros" de combate, en correspondencia a los primitivos carros de guerra de los antiguos ejércitos asirio, egipcio y romano principalmente. Estos primeros carros de combate eran lentos; se movían tan sólo a 6,5 km por hora.

Los aliados produjeron la mayor parte de los proyectos de carro de combate durante la I Guerra Mundial (los alemanes fabricaron sólo algunos enormes modelos, los *A-7*), mas los vehículos no fueron decisivos para el éxito del conflicto. En el período entre las dos guerras se introdujeron grandes mejoras en su movilidad táctica y potencia de fuego. Cuando Alemania invadió Polonia con sus compactas divisiones *panzer* (acorazadas) en septiembre de 1939, la mayor parte de los carros de combate podían moverse a velocidades que iban de los 32 a los 65 km por hora, variando así los tiempos de combate en tierra firme.

Desde entonces los carros de combate y los vehículos acorazados se han adaptado a muchas misiones, pero todos los tipos existentes pueden agruparse en cinco categorías principales:

1) *Carros de combate de batalla*, vehículos de combate que son esencialmente plataformas móviles para cañones, armados con un potente cañón principal (90-120 mm) y algunas armas automáticas auxiliares, como ametralladoras o artillería de pequeño calibre. Se mueven por medio de cadenas, están pesadamente blindados con acero y corrientemente tienen una tripulación de cuatro o cinco hombres. Esta categoría comprende también



blindado de seis ruedas

2) *Vehículos de asalto* para misiones especiales, como los carros de combate anfibios. Los vehículos, que a veces transportan tropas, son completamente a tracción oruga, pero pueden ser a medias oruga y a medias sobre ruedas. La mayor parte de estos son anfibios, para poder atravesar obstáculos, como cursos de agua de poca importancia. Menos blindados y con menos armamento que los carros de batalla, se emplean para transportar protegida a la infantería a los lugares de combate.

3) *Cañones de asalto*, que comprenden la artillería autopropulsada y la anticarro; están dotados de armas cuya misión principal es la de atacar las fortificaciones y combatir contra los carros de combate adversarios. Están potentemente armados con un solo cañón, ordinariamente de caña larga y gran alcance, con alta velocidad inicial del proyectil, en condiciones de disparar granadas perforantes.

4) *Automóviles blindados*, o simplemente *blindados*, que son una versión más ligera del carro de batalla, y que de ordinario emplean tracción sobre ruedas o semioruga.

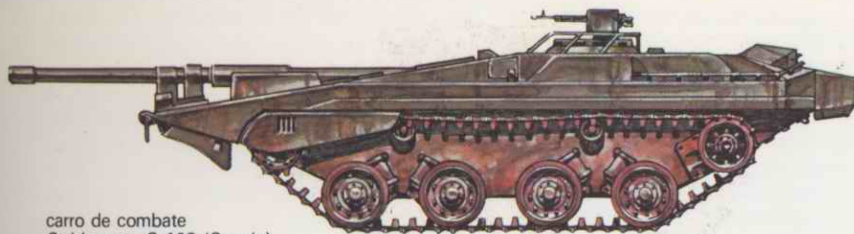
5) *Vehículos de apoyo*, una amplia categoría con varias misiones de combate y que comprende los blindados de mando, los lanzacohetes/misiles, los "bulldozer" acorazados, los carros lanzapuentes y los carros grúa y vehículos para mantenimiento del material.

Estructura y diseño de los carros de combate Los carros de combate de batalla actuales están blindados con planchas de acero o acero fundido, generalmente en la proporción de un tercio del peso total del vehículo (el carro de combate más pesado de la II Guerra Mundial, el "King Tiger" *Mark VI* alemán, pesaba 68 toneladas). Los modernos medios de transporte de tropas y otros carros especializados pueden estar blindados solamente con una lámina delgada de aluminio (el *M 113* de fabricación norteamericana pesa tan sólo 9,5 toneladas).

Además de su coraza y sus cadenas, la característica más importante en el proyecto de un carro de combate, o AFV oruga, es su forma aplastada, para presentar una silueta baja como blanco al fuego directo enemigo, e inclinada, de modo que la mayor parte de los disparos que reciba resbalen sobre su superficie. El casco de un carro de combate o de un AFV oruga es análogo al chasis de un automóvil. Contiene el motor (generalmente Diesel), las partes móviles (ruedas motrices dentadas que engranan con las cadenas), un sistema de suspensión y el cañón principal. El armamento primario de un carro de combate es corrientemente un cañón de tubo largo. Puede ser también una pieza de tubo corto y gran ángulo de tiro, como un obús, una torreta antiaérea de fuego rápido, o hasta un misil o cohete dirigido. Si el cañón va montado sobre una torreta que gira eléctricamente, será posible moverlo con rapidez. Si por el contrario va montado sobre el casco, será necesario girar el vehículo para apuntar al blanco. Un vehículo totalmente oruga se conduce variando la velocidad de las cadenas o bien parando por completo las de un lado. Como los carros de combate cabecean cuando se mueven, el tubo del arma principal debe ir estabilizado mediante un dispositivo giroscópico incorporado, que funciona en combinación con un mando hidráulico.



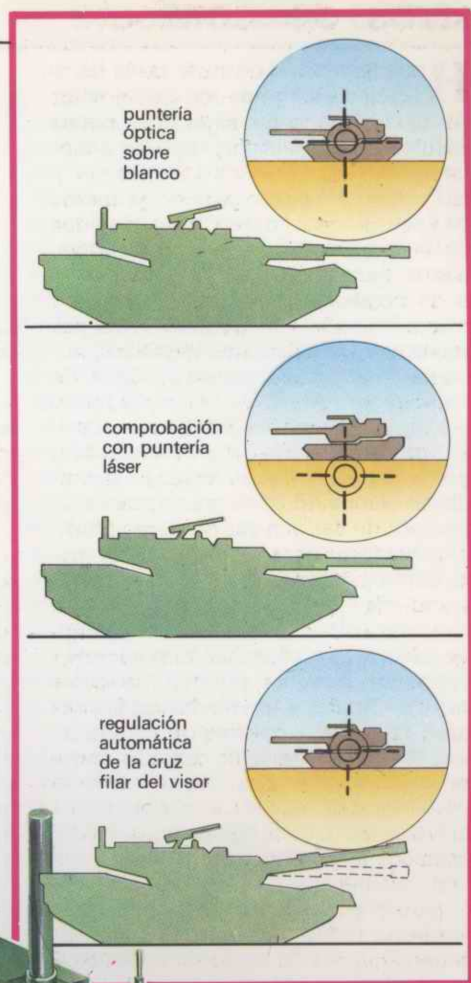
En estas páginas, arriba, un blindado y dos tipos de carros de combate, cuya evolución ha desembocado en modelos como el *M 1* de la derecha. El moderno carro de combate tiene una velocidad elevada, no excesivo peso, gran maniobrabilidad, un potente cañón y muchos instrumentos (entre los más importantes, aparte de la radio: el anteojo infrarrojo para visión nocturna y la puntería del cañón por láser). En el recuadro superior de la derecha, puntería óptica sobre el blanco; el láser determina la distancia y regula la cruz del anteojo; el tirador conseguirá así el centrado orientando tan sólo el visor: el láser sirve, por consiguiente, para regular el alza al apuntar el visor.



carro de combate
Stridsvagen S 103 (Suecia)



carro de combate *T-62*
(Unión Soviética)



antena de la radio

ametralladora de 7,62 mm

sistema NBC para visión nocturna y puntería láser

municiones

depósito de carburante

depósito de carburante

Cartas marinas

Hace más de 2.000 años, antes de que apareciesen los primeros mapas geográficos, los mercaderes que viajaban por el Mediterráneo debían navegar prudentemente bordeando la línea de la costa. Perder de vista la tierra firme significaba a menudo un gran riesgo. En el tiempo de la antigua Grecia, los navegantes se adentraban ya sin miedo en el mar para recorrer grandes distancias, poniendo sus esperanzas en un simple pedazo de pellejo de oveja colgado de la pared de la cabina. ¿Qué eran esas pieles de oveja? Eran las antecesoras de las *cartas de navegación* (conocidas también como *cartas hidrográficas, marinas* o *náuticas*), mapas geográficos para la navegación que permitían al capitán navegar sin referencias de la tierra firme. Las primeras cartas de navegación fueron los portulanos (según el término italiano utilizado para denominar lo referente a un puerto), que se remontan a principios del siglo XIII. Estaban hechos sobre piel animal y en ellos se representaban sólo los puertos y obstáculos peligrosos. A pesar de esto, fueron de gran ayuda para el comercio marítimo y, de una forma u otra, su vigencia se mantuvo hasta principios del siglo XVII. Respecto a los portulanos, las cartas náuticas actuales indican al navegante las distancias y la profundidad de las aguas, ofrecen con exactitud la longitud y latitud de cualquier punto, y con un especial procedimiento gráfico permiten al navegante determinar su ruta mediante una línea recta trazada sobre el mapa.

Tipos de cartas marinas Existen varios tipos de cartas náuticas (en general son publicaciones gubernamentales): para la navegación oceánica, la navegación entre puertos, la navegación costera y las maniobras dentro de puerto. Como regla general, las zonas costeras y los puertos se representan en mapas a gran escala, es decir, se representa una zona limitada, pero muy detalladamente y con gran precisión. En general, las cartas de navegación están impresas en colores visibles con luz roja (como púrpura, magenta y gris), para que cuando se navega de noche no haya que adaptar la visión de las luces de la sala a la oscuridad exterior. Todas las cartas marinas proporcionan al navegante información sobre dos aspectos fundamentales de una travesía: posición y profundidad del agua. Existen también las denominadas *cartas de pesca*, que son una representación detallada del fondo marino en la que se incluyen las sondas, peligros, corrientes y otros datos de especial interés para la pesca. Estas cartas existen sólo para aquellas zonas en que la pesca es importante.

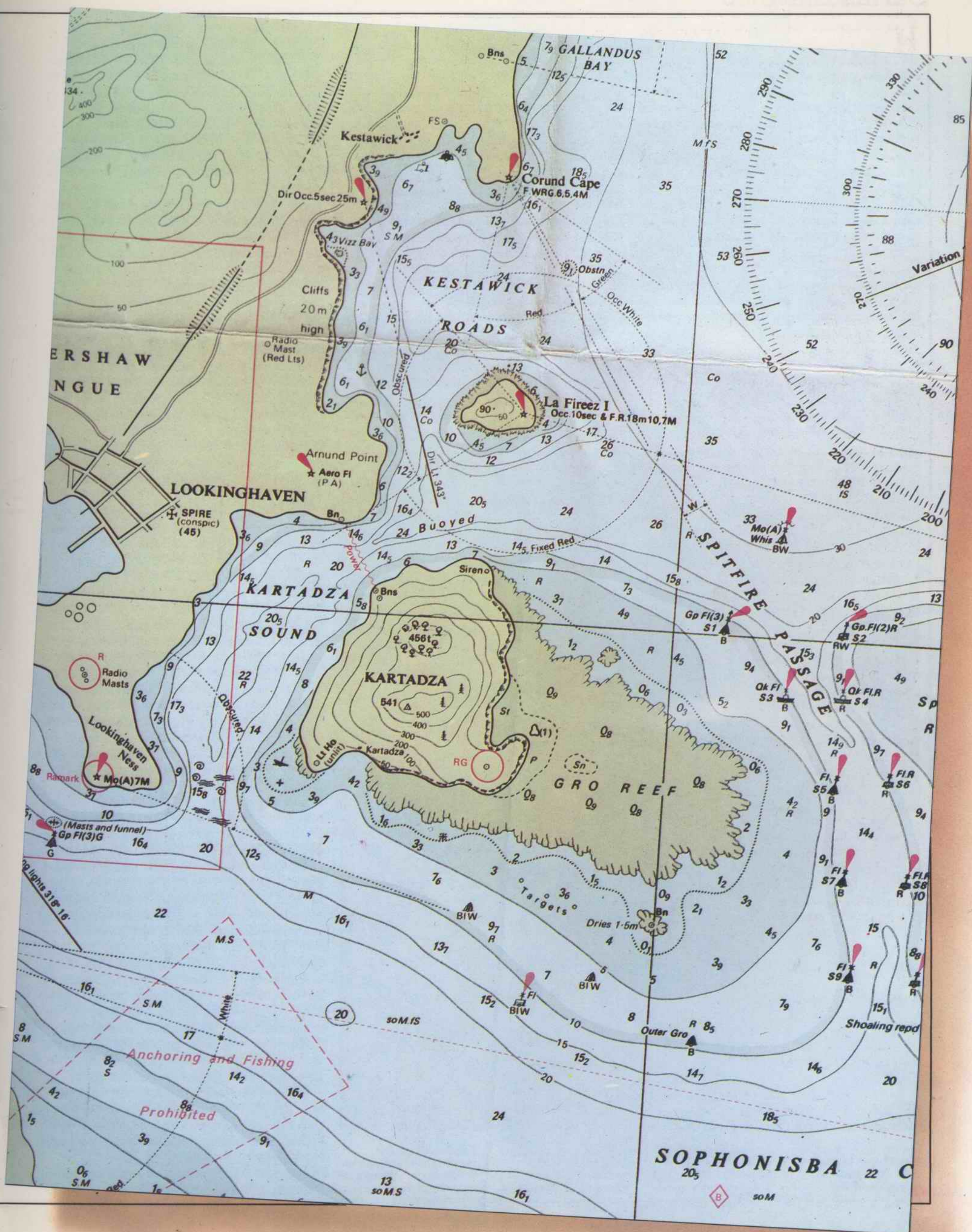
Levantamiento de una carta marina Hoy en día las líneas de la costa se reproducen en los mapas mediante la topografía hidrográfica, que utiliza la fotografía aérea y una serie de modernos aparatos para la realización de medidas electromagnéticas, obteniendo datos extremadamente precisos, en algunos casos con una aproximación de hasta 100 metros sobre una distancia de casi 1.000 km (500 millas marinas). Las mediciones efectivas se basan en métodos de *triangulación* y *trilateración*. En la triangulación, los topógrafos comienzan midiendo la distancia entre dos puntos de la tierra firme. A partir de fórmulas matemáticas preestablecidas, pueden servirse de esa distancia conocida y tomarla como base de un triángulo que se alarga hasta su tercer vértice, que se encuentra en el agua. Conociendo el valor de los ángulos del triángulo (medidos con un aparato llamado *teodolito)*, los topógrafos pueden calcular matemáticamente la distancia entre puntos de la tierra firme y puntos del mar. Cuando estos últimos vienen dados por una nave que realiza sondeos, se puede señalar también sobre el mapa la profundidad del agua en puntos muy precisos a lo largo de la línea costera. La trilateración llega al mismo resultado, pero con la medida directa de distancias mediante nuevas y sofisticadas "varas de medición" electrónicas; los ángulos no son ya necesarios en las fórmulas de cálculo. Para medir la profundidad se utiliza una simple vara graduada —cuando las aguas son poco profundas— o una ecosonda —cuando la profundidad es mayor— que eleva a la superficie las ondas sonoras del fondo marino. Las mediciones se hacen generalmente en metros, excepto en los países anglosajones, donde se utiliza la braza (1,8 metros).

Señalización de obstáculos peligrosos Los sondeos de profundidad son particularmente importantes para la realización de las cartas de los puertos (que suelen hacerse a escala 1:50.000 o mayor, lo que significa que una unidad de medida del mapa equivale a 50.000 unidades de medida de superficie terrestre real) y para las cartas costeras (que se hacen a escalas 1:50.000 y 1:100.000). Estas cartas son especialmente útiles para los navegantes cuando tienen que atravesar zonas de escollos, fondos bajos, litorales rocosos y otros obstáculos potenciales a lo largo de la ruta en dirección a puerto. En estas cartas se indican con signos convencionales las boyas, las rocas, los faros, las ruinas o restos hundidos y otros obstáculos peligrosos. Las cartas de navegación oceánica están a escala reducida (hasta 1:500.000), representando amplias extensiones de océano, donde se puede determinar la posición de una nave día a día.

La proyección cilíndrica —método para representar configuraciones esféricas sobre un mapa geográfico plano— fue desarrollada por el cartógrafo Gerardo Kremer, más conocido por Mercator, en el siglo XVI y todavía hoy se utiliza mucho para las cartas de navegación. En la proyección Mercator, las líneas de longitud (las que van de polo a polo) aparecen paralelas entre sí en el mapa, mientras que las líneas de latitud (las paralelas al ecuador) están cada vez más espaciadas según se van alejando del ecuador. Fijando una cuadrícula en base a este principio, Mercator preparó mapas sobre los cuales los marinos podían trazar las rutas loxodrómicas (ruta de una nave siguiendo la dirección constante dada por la brújula) en línea recta. Esto hacía posible la navegación siguiendo, de acuerdo con la brújula, los ángulos de la ruta que están representados en todas las cartas de navegación. La navegación moderna se basa en la situación de las estrellas y de los satélites para establecer la posición, pero la estimación de ésta utilizando la brújula y la carta náutica es aún una parte fundamental de la navegación.

Véase **Cartografía; Topografía**

El objetivo de las cartas marinas es proporcionar a los navegantes toda la información necesaria para navegar con seguridad. Los expertos en cuestiones marinas saben que la navegación de altura es más segura que la costera. La costa presenta muchas dificultades, especialmente de noche; la única ventaja es la de poder encontrar rápidamente un puerto donde resguardarse en caso de "mala mar". Pero incluso en ese caso, la entrada en el puerto puede entrañar grandes riesgos si no se tiene conocimiento de los posibles obstáculos. En la página de al lado, fragmento de una carta náutica ficticia, imaginada para ofrecer la oportunidad de mostrar todos los obstáculos posibles. También contiene toda la información que sirve de ayuda al marino desde tierra firme, como son los faros y otros tipos de señalización y de luces. La carta náutica ofrece en primer lugar información sobre la naturaleza de los fondos marinos: la profundidad y las características topográficas. Si el fondo tiene una profundidad media, el navegante puede saber las ventajas de un posible anclaje; si por el contrario la profundidad es muy escasa, la carta le informa sobre cuáles son los pasos posibles, mediante la recogida de su flotador. En el caso de canales para la navegación en zonas angostas, en el mapa encontrará los pasos que hayan sido dragados y las señales cuya disposición le permitirán atravesar con seguridad estas peligrosas zonas. En las zonas batidas por fuertes mareas, le permite saber cuáles son la línea de costa y la profundidad del fondo en los momentos de bajamar y pleamar (la flecha y las horas de tales mareas se encuentran publicadas en boletines anuales). Hay también indicaciones sobre la presencia de eventuales restos o de zonas donde no se debe anclar debido a, por ejemplo, la existencia de cuevas submarinas. La carta ofrece también todas las informaciones que puedan resultar útiles para el trazado de la ruta, la primera de ellas es la cuadrícula de meridianos y paralelos y la rosa de los vientos con la indicación de la declinación magnética y sus variaciones. La tierra firme no suele estar cartografiada, excepto cuando la forma y el aspecto de la costa pueden dar indicios de reconocimiento y ayudar al navegante que necesite una información suplementaria sobre el punto en que se encuentra. Los avisos a los navegantes hacen referencia a estas cartas cuando éstos tienen que desviarse porque, por ejemplo, se ha prohibido provisionalmente la circulación en un brazo de mar. Análogamente para el caso de maniobras militares o de la ejecución de trabajos marinos. Ya que estas condiciones de la navegación pueden variar con frecuencia, las cartas marinas se renuevan continuamente.



GALLANDUS BAY
Kestawick
Corund Cape
F.WRG.6,5,4M
Dir Occ.5sec 25m
Vizz Bay
KESTAWICK
ROADS
Obstn
Green
Occ White
Red
Cliffs
20 m
high
Radio Mast (Red Lts)
Obscured
La Fireez I
Occ.10sec & F.R.18m10,7M
ERSHAW
NGUE
Arnund Point
Aero Fl (P A)
Dir Lt 343°
LOOKINGHAVEN
SPIRE (conspic) (45)
Buoyed
Fixed Red
SPITFIRE PASSAGE
Mo(A) Whis
Gp Fl(3)
Gp.Fl(2)R
Qk Fl
Qk Fl.R
Siren
Bns
KARTADZA SOUND
KARTADZA
Radio Masts
Lookinghaven Ness
Ramark
Mo(A)7M
Obscured
Lt Ho (unlit)
Kartadza
GRO REEF
(Masts and funnel)
Gp Fl(3)G
Targets
Dries 1·5m
Outer Gro
Variation
Shoaling repd
Anchoring and Fishing
Prohibited
White
SOPHONISBA

Cartografía

La cartografía tiene por objeto el levantamiento, realización e interpretación de mapas; incluye por tanto una serie de técnicas y procesos que van desde la recogida de la información hasta la reproducción y lectura de planos, mapas y otras formas de expresión gráfica. Los dos problemas técnicos principales de la cartografía son: la reducción a una superficie plana (lo que se resuelve mediante los sistemas de *proyección*) y la conservación de unas relaciones constantes entre el tamaño de un objeto en la realidad y en el mapa, lo que constituye la *escala*.

Existe una amplia tipología de mapas según la superficie representada, como los mapas celestes o las cartas marinas, pero los más frecuentes y utilizados son las representaciones topográficas de la superficie terrestre, que recogen los principales hechos observables directamente, y en especial el relieve. En otros casos se seleccionan algunos aspectos específicos de la realidad, lo que constituye la *Cartografía temática*; entre los mapas temáticos más generalizados pueden citarse los mapas geológicos (extensión, edad y tipos de rocas), mapas de vegetación, climáticos, meteorológicos, de suelos, etc. Otras veces representan de forma gráfica determinados aspectos humanos y características socioeconómicas que no son visibles directamente, por lo que significan un paso más avanzado de abstracción; son de este tipo los mapas que representan la densidad de población, distribución de renta per capita, porcentaje de población urbana, etc. Estos mapas son de excepcional utilidad para una larga serie de usuarios en la investigación, enseñanza y divulgación en general, puesto que reflejan de forma sintética y gráfica la distribución de estas variables a nivel de un país, continente o de toda la Tierra.

Independientemente de su contenido concreto, todo mapa debe reunir una serie de características para que resulte válido al usuario, siendo las principales la *exactitud* (en cuanto a localización, datos y formas) y la *claridad visual*, lo que permite una lectura fácil, sintética y precisa. Para lograr esos objetivos el cartógrafo debe utilizar una serie de apoyos técnicos de gran precisión, así como realizar un difícil trabajo de abstracción y generalización, que será tanto mayor cuanto más reducida sea la escala, puesto que es necesario ir eliminando progresivamente los detalles del terreno. En todo caso, los mapas deben llevar siempre una información exacta acerca de la escala, orientación, tipo de proyección y cartela explicativa de los símbolos utilizados.

De todos los tipos de mapas, los más importantes son los *topográficos* de la superficie terrestre, que plantean una serie de problemas técnicos a los que se ha ido dando soluciones cada vez más perfectas a lo largo de la Historia.

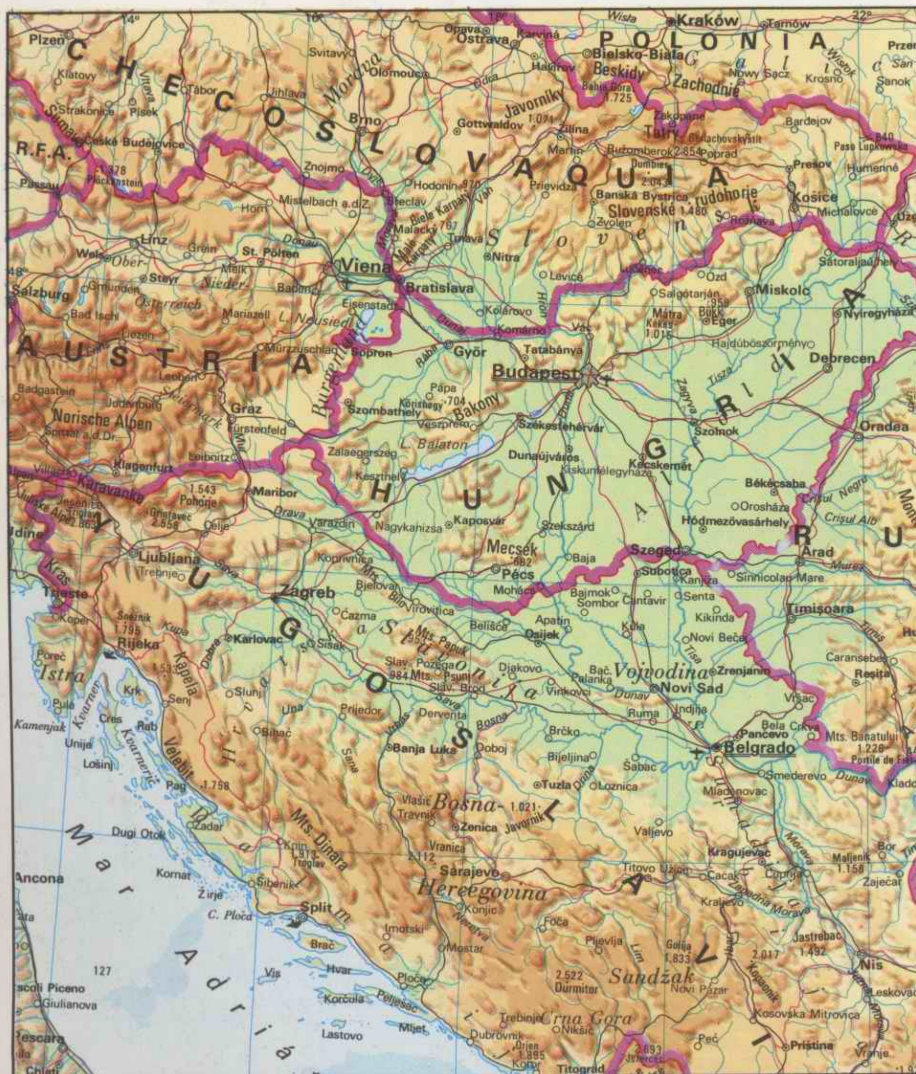
En líneas generales se puede decir que en la Antigüedad se sentaron las bases para una cartografía terrestre bastante precisa, basada en los conocimientos teóricos de la Astronomía (Babilonia, Egipto) y de los matemáticos griegos, a lo que se añadía la información empírica recogida por viajeros y navegantes. En el siglo II de nuestra Era, Tolomeo sintetizó todos los conocimientos de la Antigüedad, especialmente en lo que se refiere a redes de paralelos y meridianos, basándose en la esfericidad de la Tierra.

El olvido de estas aportaciones hizo que durante la Edad Media las representaciones cartográficas quedaran reducidas a las cartas de navegación (portulanos) que comienzan a proliferar en la Baja Edad Media, pero que sólo recogían las rutas de los navegantes y el contorno de las costas, descuidando las importantes realizaciones de las escuelas de Génova, Portugal y Mallorca. Será en el Renacimiento cuando se sienten las bases de la cartografía moderna, al coincidir el redescubrimiento científico de Tolomeo con la época de los grandes viajes circunterrestres y el comienzo de los adelantos tecnológicos, que hicieron posible la obtención de datos y medidas progresivamente más perfectos.

Se puede considerar que el avance más importante desde el Renacimiento se produce a lo largo del siglo XX con la incorporación de los sistemas fotogramétricos aéreos a la cartografía, en especial a partir de la II Guerra Mundial, de modo que en la actualidad casi toda la información de altitudes, localización absoluta y coordenadas se hace a partir de imágenes fotográficas obtenidas por aviones convencionales y por satélites artificiales, lo que ha permitido disponer de cartografía actualizada y asequible económicamente a todos los países del mundo, con una información que, en el caso de la procedente de satélites, puede ser enviada a distancia y manipulada directamente por métodos informáticos (*teledetección*).

Los problemas técnicos más importantes que se han ido resolviendo se agrupan en: medidas exactas de la superficie terrestre; medidas de altitudes de los puntos y proyecciones.

Las medidas exactas de la Tierra son imprescindibles para la correcta localiza-



Los mapas topográficos constituyen la base de toda cartografía y representan con especial claridad el relieve, además de algunos aspectos de localización precisa, tanto de carácter físico (ríos, lagos) como humano (ciudades, fronteras...). El nivel de detalles es menor cuanto más reducida es la escala, como se ve en este mapa de Europa.

ción de un punto, e incluyen distintos pasos, que comienzan con la *determinación del geoide* o medida exacta de las dimensiones terrestres, con datos obtenidos por medios astronómicos, geofísicos y geodésicos. A continuación se establece la *localización del punto* con respecto a la red de meridianos y parelelos. La medida de la latitud se comenzó a obtener midiendo la altura de ciertos astros de referencia sobre el horizonte con la ayuda del teodolito; las medidas de longitud se realizaron calculando el tiempo exacto transcurrido en el desplazamiento de un punto de la Tierra, para lo que se emplearon en principio relojes de péndulo, pasando después a los cronómetros de precisión y señales horarias emitidas por radio.

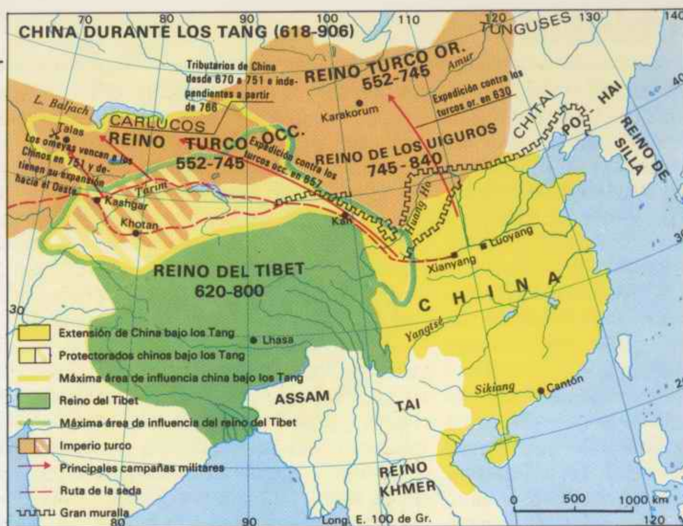
La *triangulación* fija la posición relativa de los puntos fundamentales o vértices geodésicos, para lo que se establece una cadena de triangulación cuyos lados se miden con toda precisión con respecto a un punto de referencia que es el Datum. Aunque los principios teóricos de triangulación eran conocidos desde el siglo XVI, sólo el perfeccionamiento de los instrumentos ópticos en el siglo XVII permitió establecer las primeras redes de triangulación.

Finalmente, mediante la *nivelación* se fija la altitud de los puntos con referencia a la superficie del geoide, tomando para ello el nivel medio de los mares que, por ejemplo, en la cartografía española viene referido a Alicante. Para obtener este dato se han venido utilizando mareógrafos, nivelaciones trigonométricas y barométricas, pasando en la actualidad al radar aerotransportado.

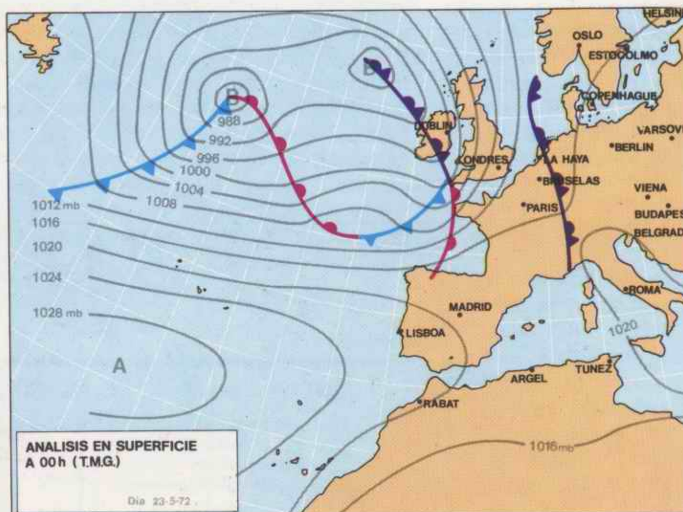
Una vez obtenidos los datos de referencia con respecto a la superficie terrestre, el paso siguiente es la *determinación de las altitudes* y su representación cartográfica. En la actualidad, esta información se realiza íntegramente a partir de la restitución fotogramétrica de las imágenes obtenidas desde aviones (fotografías aéreas)

En lo que respecta a las *proyecciones*, la dificultad estriba en adaptar la superficie esférica de la Tierra al plano bidimensional del mapa, para lo que existen soluciones muy diversas. La primera proyección moderna fue la utilizada por el cartógrafo flamenco Gerardo *Mercator*, quien en 1569 utilizó como plano de proyección un cilindro tangente al ecuador, sistema que mantiene los ángulos de intersección de la red de meridianos y paralelos, pero que introduce graves distorsiones de escala, especialmente en latitudes elevadas. En la actualidad, se ha adoptado con carácter general la proyección UTM (*Universal Transversa Mercator*), que requiere complicados sistemas de medición, pero que resulta válida para cualquier latitud, conservando correctamente las dimensiones en cuanto a distancias, superficies y ángulos.

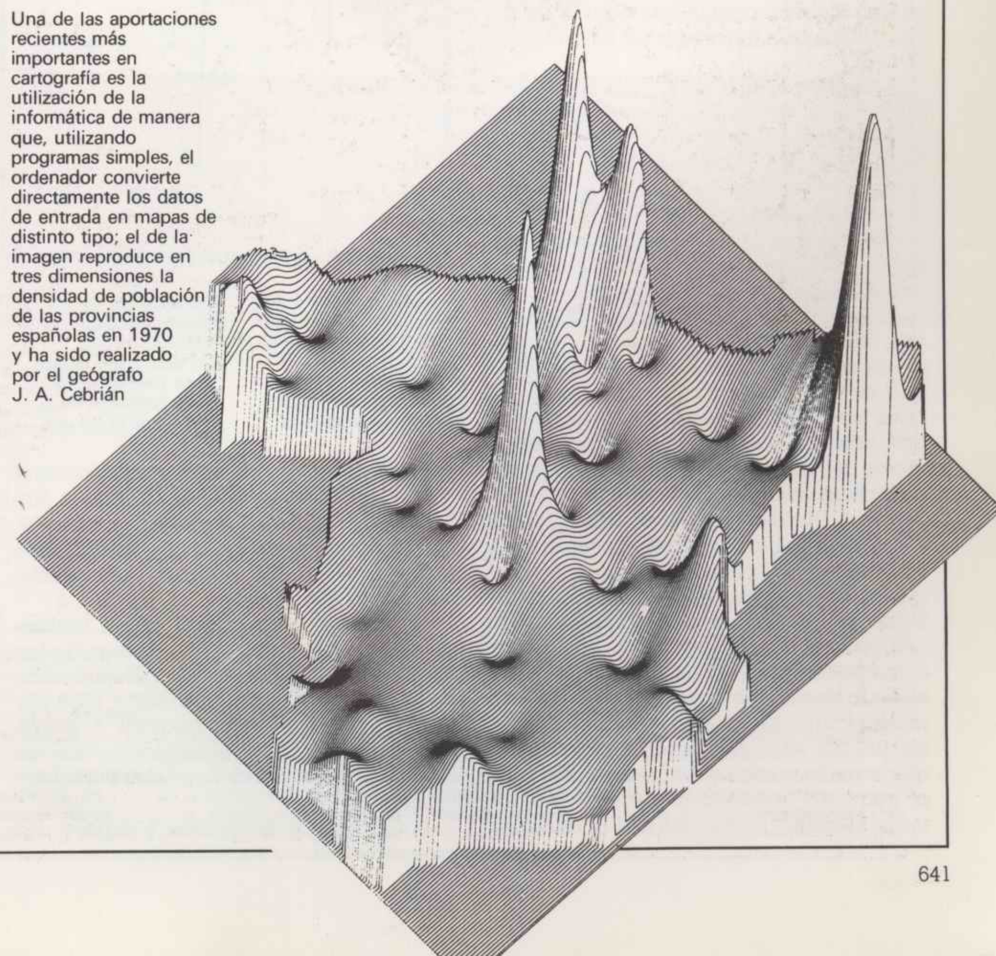
Véase **Cartas marinas; Cartografía celéste; Fotografía aérea; Levantamiento topográfico; Mapa geológico; Vegetación, mapa de**



La Cartografía temática permite representar gran diversidad de aspectos (históricos, culturales, socioeconómicos, etc.) mediante la utilización de gamas de colores, sombreado o símbolos, tales como círculos, puntos o cuadrados.



Los mapas meteorológicos constituyen un tipo de mapa temático que representa la situación de la atmósfera en un momento dado mediante isobaras, centros de altas y bajas presiones, y situación de los frentes que, en este caso, se desplazan desde el Atlántico hacia Europa occidental.



Una de las aportaciones recientes más importantes en cartografía es la utilización de la informática de manera que, utilizando programas simples, el ordenador convierte directamente los datos de entrada en mapas de distinto tipo; el de la imagen reproduce en tres dimensiones la densidad de población de las provincias españolas en 1970 y ha sido realizado por el geógrafo J. A. Cebrián

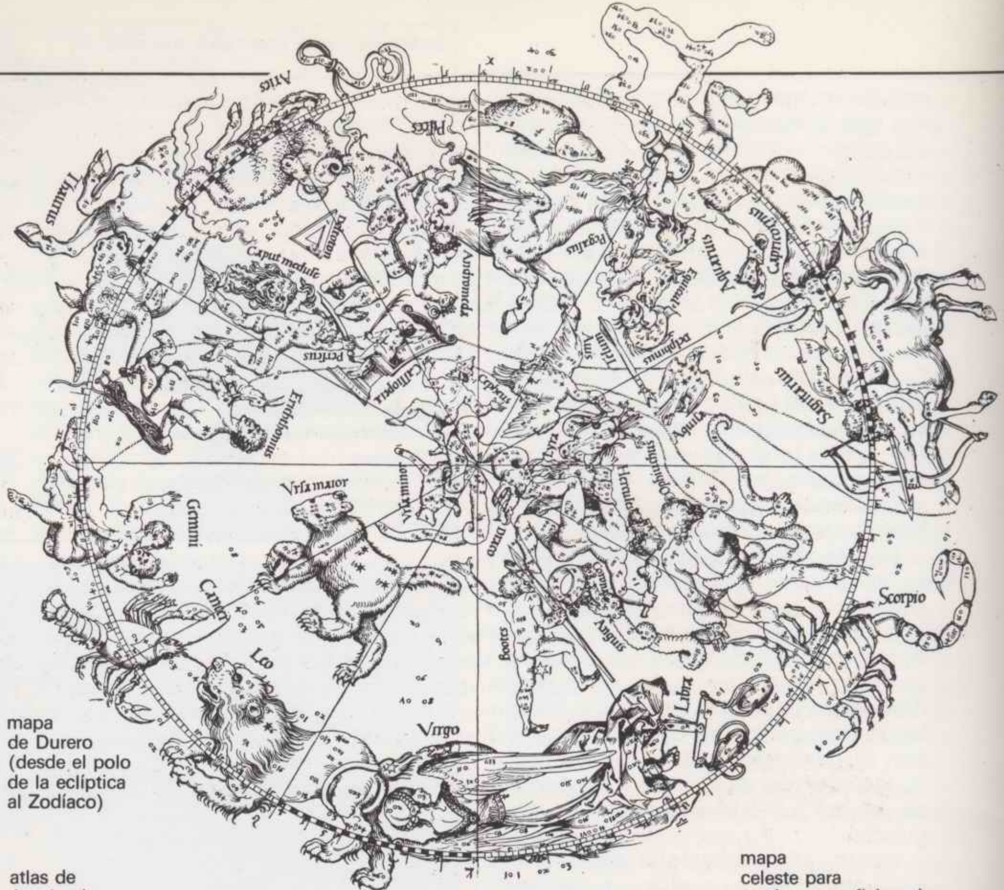
Cartografía celeste

En el siglo II a. de C. vivió en Grecia el primer gran astrónomo de la Historia, Hiparco, que, además de otros logros que se le atribuyen, realizó el primer catálogo estelar. Calculó la latitud y longitud de unas 850 estrellas, utilizando un sistema de coordenadas no muy distinto del que actualmente utilizan los astrónomos para definir la posición de estrellas y galaxias. Estudió también un sistema para clasificar las estrellas según su luminosidad aparente y su tamaño. Los complejos sistemas utilizados por los astrónomos actuales son básicamente extensiones y mejoras de los resultados de Hiparco. Tolomeo, el más importante astrónomo de la Antigüedad, amplió el mapa de Hiparco, hasta representar la posición de unas mil estrellas.

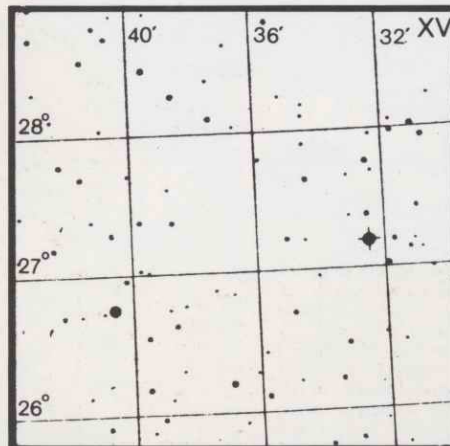
Mientras la observación de los astrónomos estuvo limitada a lo que podían observar a simple vista, no pudieron lograrse notables mejoras en la cartografía celeste. La situación cambió rápidamente con la aparición del telescopio, logro atribuible básicamente a Galileo, que junto con los estudios de Copérnico y Kepler marcó el comienzo de la Astronomía moderna, cuya expansión coincidió con el desarrollo de las técnicas de grabado e impresión. Durero, famoso pintor y grabador alemán del Renacimiento, realizó dos bellísimos grabados de las constelaciones del cielo septentrional y austral. El mismo Galileo publicó importantes mapas representando en ellos algunos de sus descubrimientos con el telescopio: las "lunas" de Júpiter, las fases de la Luna y de Venus, etc. Lucas Cranach "el Viejo", pintor contemporáneo de Durero y alemán también, realizó algunos mapas con figuras de las constelaciones, derivadas de las obras de Durero.

A finales del siglo XVII, John Flamsteed, el primer astrónomo real de Inglaterra, determinó la posición de unas 3.000 estrellas. Los mapas de Flamsteed eran, para su tiempo, modelos de precisión astronómica e incluían artísticas figuras de muchas constelaciones. Introdujo además un sistema racional para la numeración de las estrellas dentro de una constelación.

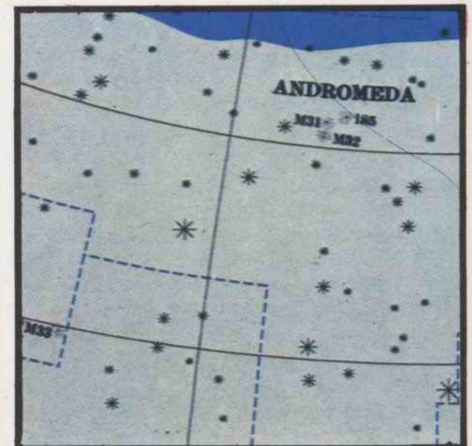
Un siglo más tarde, un astrónomo francés, Charles Messier, durante su búsqueda de nuevos cometas se dio cuenta de que su trabajo era obstaculizado por débiles "amasijos" de nubes luminosas llamadas *nebulosas*, las cuales, observadas a través del telescopio, eran muy parecidas a cometas, salvo en que parecían inmóviles. En 1781 realizó un atlas que contenía 101 nebulosas, con el que pretendía dar su localización para evitarlas en la búsqueda de cometas. Actualmente, por una ironía del destino, cuando la búsqueda de cometas se ha convertido en una de las actividades menores de la Astronomía, el atlas de Messier es considerado una de las piedras miliares de esta ciencia. La razón es que posteriormente se ha descubierto que aquella mancha confusa que él bautizó como *M1* (es decir, la primera en la lista de Messier) es en realidad la nebulosa del Cangrejo y que aproximadamente otras dos docenas de esas manchas son en realidad cúmulos estelares que contienen millares de estrellas de dimensiones similares a las del Sol, situados en los límites de nuestra galaxia.



mapa de Durero (desde el polo de la eclíptica al Zodíaco)



atlas de Argelander



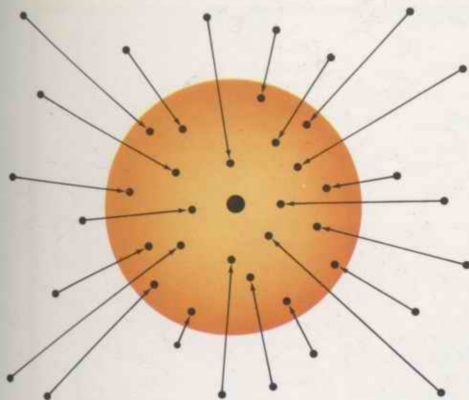
mapa celeste para astrónomos aficionados

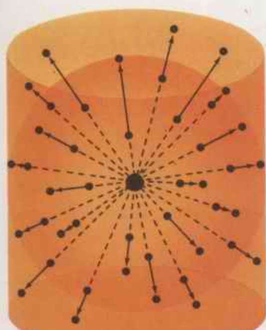
La cartografía celeste ha tenido una función muy distinta según las épocas. Durante el Renacimiento, los mapas celestes daban más importancia a la forma de las figuras mitológicas que a la posición de las estrellas como puede verse (arriba) en la representación del hemisferio norte del atlas de Durero. El primer atlas moderno propiamente dicho es el de Argelander llamado también *BD*. Sobre estas líneas, a la derecha, puede verse un fragmento de un mapa celeste en pequeña escala en donde aparece señalada la posición de las estrellas más importantes.

El último gran catálogo estelar realizado antes del desarrollo de la fotografía fue el *Bonner Durchmesterung* (Observación de Bonn), publicado entre 1852 y 1862 por el astrónomo alemán Friedrich Argelander. En este trabajo catalogó más de 300.000 estrellas del hemisferio septentrional.

Los catálogos de Messier y Argelander fueron sustituidos por el famoso Nuevo Catálogo General de las Nebulosas y de los cúmulos estelares (NGC), realizado por el astrónomo danés J. L. E. Dreyer y publicado en 1888. Dreyer asignó un índice que podía llegar hasta cuatro cifras para cuerpos celestes importantes.

Antes de que la fotografía fuese habitualmente utilizada en la confección de mapas celestes, las informaciones de los catálogos estelares debían ser trasladadas a mano a los mapas. Cuando los astrónomos comenzaron a fotografiar el cielo, las fotografías se convirtieron, como es natural, en mapas instantáneos; actualmente,


estrellas proyectadas en la esfera celeste

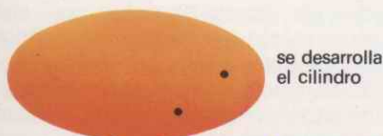

la esfera se inscribe en un cilindro

los astrónomos utilizan tanto negativos, donde las estrellas son puntos negros sobre un fondo claro, como copias positivas, en las que las estrellas son puntos blancos sobre un fondo oscuro.

El primer astrónomo que se planteó el realizar un atlas fotográfico de todo el firmamento fue David Gill, un escocés que obtuvo el cargo de astrónomo real en Sudáfrica. El proyecto de Gill, comenzado en 1880, se completó después de cincuenta años de trabajo con la colaboración de cientos de astrónomos.

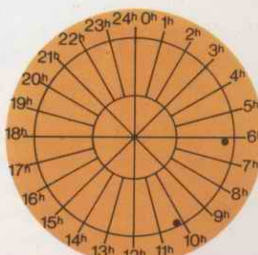
En los años cincuenta de nuestro siglo, el observatorio de Monte Palomar, en California, colaboró con la National Geographic Society en la preparación de un atlas estelar. Este atlas, que contiene unas 2.000 hojas, ha adquirido una gran importancia para los astrónomos y los astrofísicos. La fecha "1 de enero de 1950" ha sido elegida como fecha origen a la que referir todas las posiciones de las estrellas; sin embargo, en los atlas más recientes ha sido sustituida por la de "1 de enero del 2000". En los últimos años viene siendo ampliamente utilizado por los astrónomos aficionados, por su gran simplicidad, un atlas simplificado del cielo, en ocho mapas. Los mapas son producidos por la universidad de Cambridge, utilizando una cinta de computadora suministrada por el Smithsonian Astrophisical Observatory de la universidad de Harvard. El resultado final es un gráfico computerizado de la posición y tamaño (representado por símbolos de estrellas de tamaño decreciente) de todas las estrellas de magnitud más brillante que 6.1, que es la más baja magnitud visible a simple vista. Para obtener mapas de tan gran belleza y precisión, antes habrían sido necesarios años de trabajo; sin embargo, hoy los cálculos requeridos por los mapas de los hemisferios septentrional y austral (mapas circulares centrados alrededor de los polos celestes) llevaron un minuto y pocos segundos, mientras que para el posicionamiento computerizado de las estrellas en los mapas bastó aproximadamente un cuarto de hora para cada mapa. Es una buena diferencia respecto a los cincuenta años que se necesitó para el atlas iniciado por David Gill.

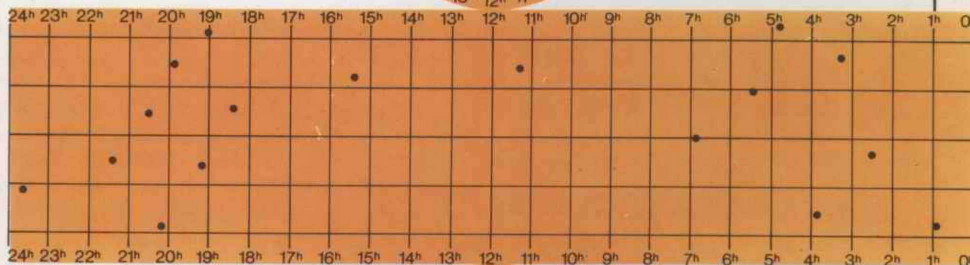
Véase **Astronomía; Astronomía para aficionados**


se desarrolla el cilindro

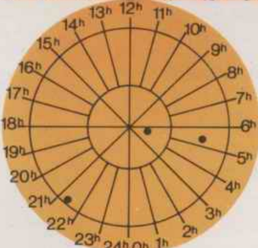


las regiones polares se distribuyen en dos círculos





la zona ecuatorial se dispone en un rectángulo que puede subdividirse en hojas



¿Cómo se traza un mapa celeste? En primer lugar se señala la posición de las estrellas que están distribuidas alrededor del observador (arriba). Como a simple vista no se pueden apreciar las distancias, todo aparece como si se tratara de puntos luminosos sobre una esfera, la esfera celeste. Llegados a este punto, se plantea el mismo problema que en la cartografía terrestre, es decir, representar en un plano lo que en realidad se encuentra sobre una superficie curvada, que puede, sin embargo, "desarrollarse" en una superficie plana, por ejemplo, un cilindro arrollado alrededor de una esfera (centro). La proyección sobre la superficie cilíndrica deforma las posiciones recíprocas de las estrellas. Las porciones de esfera cercanas a los polos pueden proyectarse en dos planos que vienen a ser los discos que cierran el cilindro. Sobre las mismas superficies se proyectan los meridianos y paralelos celestes (abajo); respecto a estas referencias se representan después las posiciones de las estrellas. También se pueden elegir otros tipos de superficies desarrollables; muchos mapas celestes tienen su origen a partir de superficies cónicas, en lugar de cilíndricas o planas.

Catálisis y catalizadores

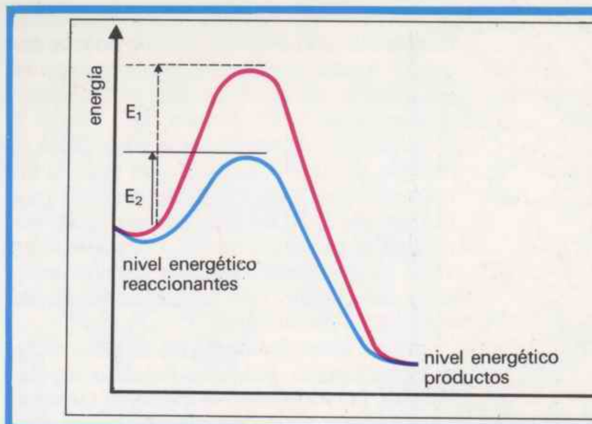
Las grasas vegetales permanecen líquidas a temperatura ambiente. Sin embargo, podemos adquirirlas en el mercado en forma sólida (las barras de margarina, por ejemplo). Ello se debe a que se ha aumentado el punto de fusión de las grasas originalmente líquidas mediante un tratamiento químico que consiste en una hidrogenación, es decir, la adición de átomos de hidrógeno a las moléculas de grasas naturales. Aunque las principales sustancias que intervienen en este proceso son las moléculas de aceite vegetal y el hidrógeno, la reacción de hidrogenación no se produce sin la presencia de un metal, el níquel. En este ejemplo el níquel actúa como *catalizador*, lo que quiere decir que se trata de una sustancia que, aunque no se transforma durante el curso de la reacción, es capaz de aumentar considerablemente la velocidad de la reacción. La acción que realiza recibe la denominación de *catálisis*.

Una característica notable de los procesos catalíticos es el hecho de que los catalizadores siempre participan en cantidades muy pequeñas, sensiblemente inferiores a las de los compuestos reaccionantes.

Catálisis Para comprender el modo de acción de los catalizadores, es conveniente recordar algunas nociones fundamentales relativas a las reacciones químicas. Una reacción tal como A→B tiene lugar porque una fracción de las moléculas A alcanza, en un momento dado, un nivel de energía mayor que el resto de la población de moléculas. Esa energía conduce a un "estado activado" de dicha fracción que permite, bien la ruptura de algunos enlaces químicos o bien la formación de enlaces nuevos que son requeridos para la formación del producto B. La *energía de activación* se define, por tanto, como la cantidad de energía en calorías que se necesita para llevar a las moléculas contenidas en 1 mol de una sustancia desde una temperatura dada hasta el enlace activado.

El paso de las sustancias reaccionantes hasta los productos de la reacción se verifica a través de un estado molecular intermedio de alta energía o *estado de transición*. Eso quiere decir que, aunque una reacción sea exotérmica, el tránsito desde el estado inicial hasta el estado final no puede realizarse directamente, sino que debe hacerse venciendo una barrera energética que es característica para cada proceso concreto.

Los catalizadores aumentan la velocidad de la reacción porque son capaces de disminuir la energía libre de activación. Se combinan con los reaccionantes para producir un estado de transición con menos energía libre que el estado de transición correspondiente a la reacción química no catalizada. Tras la aparición de los productos de la reacción, se regenera de nuevo el catalizador en estado libre, que queda, por tanto, apto para intervenir en nuevas reacciones.



Los catalizadores son sustancias que aumentan la velocidad de una reacción química y que permanecen inalterados al final de la reacción. El diagrama muestra el perfil del salto de energía de activación que se requiere para que la reacción sea posible, y el contenido energético de los productos de la reacción. La línea azul (que indica el curso de la reacción catalizada) representa una disminución de la energía de activación de los compuestos reaccionantes respecto de los que se observen en la reacción no catalizada (línea roja).

Tipos de catalizadores Existen dos tipos fundamentales de catalizadores: homogéneos y heterogéneos. Son *catalizadores homogéneos* aquellas sustancias que se encuentran en la misma fase (sólida, líquida o gaseosa) que el resto de los compuestos que intervienen en la reacción. Generalmente la catálisis homogénea se lleva a cabo por catalizadores y reaccionantes en fase líquida. Los *catalizadores heterogéneos*, por su parte, son aquellos que se encuentran en una fase diferente a la del resto de las sustancias reaccionantes que participan en el proceso. En muchas ocasiones estos catalizadores son sólidos que actúan acelerando reacciones entre gases. Por lo general se trata de metales, óxidos metálicos, sulfatos metálicos o sales en estado sólido que, pulverizados, se fijan a otras sustancias inertes que actúan como soporte. Se les denomina también *catalizadores de contacto* porque, una vez inmovilizados en el soporte, aceleran la reacción química que se produce a medida que los gases se difunden sobre el catalizador sólido.

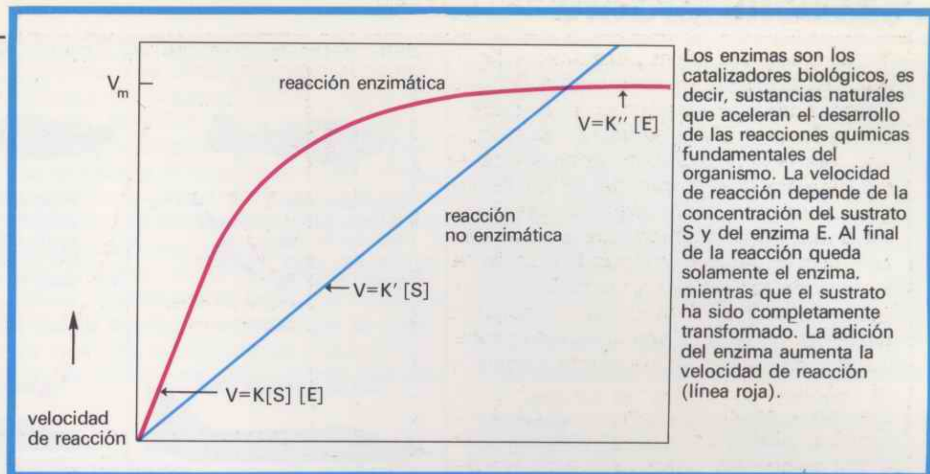
Entre los catalizadores heterogéneos podemos distinguir a su vez tres tipos principales: *conductores* (generalmente metales, utilizados en reacciones de hidrogenación o de deshidrogenación), *semiconductores* (óxidos o sulfuros metálicos que favorecen las reacciones de oxidación) y *aislantes* (por lo común sales que actúan sobre los enlaces carbonohidrógeno presentes en todas las sustancias orgánicas).

Catalizadores aislantes Son utilizados en gran escala en la industria del petróleo en un proceso denominado *cracking catalítico*. En una unidad de *cracking* catalítico, las moléculas de gasóleo y de asfalto del petróleo sin refinar se fraccionan en productos más sencillos y vendibles en el mercado, tales como los aceites ligeros y la gasolina. Como ejemplos de catalizadores típicos del *cracking* podemos citar la sílice (óxido de silicio), la alúmina (óxido de aluminio), arcillas tratadas y zeolitas. Posteriormente, y para disminuir la detonación de los motores, la gasolina tiene que ser tratada de nuevo para aumentar su contenido en moléculas complejas de hidrocarburos muy ramificados. Para ese fin, la gasolina se trata en presencia de un catalizador a base de sílice-alúmina.

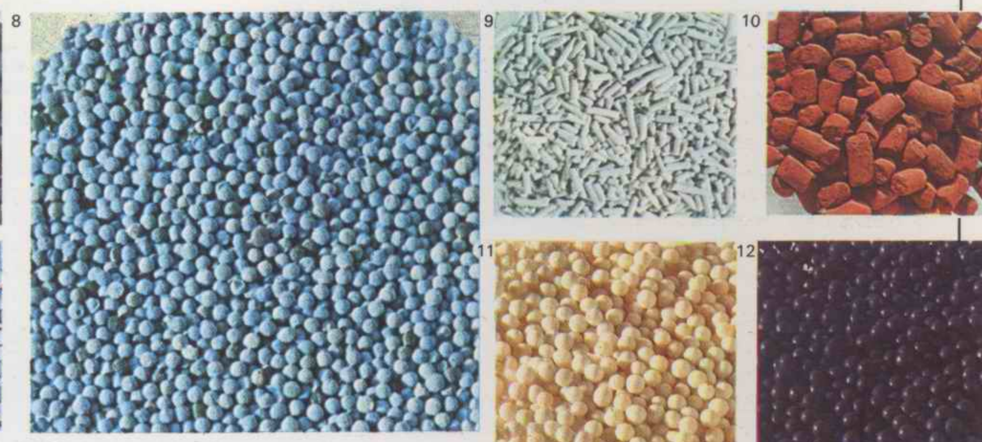
Los gases de escape de los motores de gasolina pueden contaminar el aire. Ese aspecto nocivo puede ser evitado en parte por un nuevo proceso catalítico. El carburante de los vehículos que se quema sólo parcialmente da lugar a la formación de un gas venenoso, el monóxido de carbono (CO) y a otras sustancias contaminantes. Sin embargo, si se complementa el







Los enzimas son los catalizadores biológicos, es decir, sustancias naturales que aceleran el desarrollo de las reacciones químicas fundamentales del organismo. La velocidad de reacción depende de la concentración del sustrato S y del enzima E. Al final de la reacción queda solamente el enzima, mientras que el sustrato ha sido completamente transformado. La adición del enzima aumenta la velocidad de reacción (línea roja).





sistema de escape con un dispositivo denominado "convertidor catalítico", el monóxido de carbono y los residuos hidrocarburados reaccionan entre sí y se convierten en dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua, que son totalmente inocuos. En el interior del convertidor se encuentra el catalizador, que consiste en una pequeñísima cantidad de un compuesto de platino en forma de perlas porosas impregnadas de platino metálico o en estructuras en forma de panales de abeja impregnados asimismo de platino. La conversión se realiza durante el paso del gas de escape a través del lecho de platino.

La capacidad que presentan los catalizadores de aumentar la velocidad de las reacciones químicas les hace insustituibles en los procesos industriales de producción en gran escala y no solamente en la producción de carburantes, sino también en muchos otros procesos, tan diversos como la producción de materiales plásticos, productos alimenticios, sustancias color ntes y aromatizantes, etcétera.

Véase **Enzimas; Reacción química**



En las dos fotos, a la izquierda, secuencia de la preparación de un catalizador bimetálico en el laboratorio. La utilización de compuestos organometálicos requiere siempre espe[illegible]es prec[illegible]nes, entre ellas la utilización de material de vidrio secado a la llama para eliminar toda traza de humedad, y de una corriente de gas inerte sobre la mezcla de reacción. En el caso ilustrado asistimos a la preparación de un catalizador bimetálico obtenido haciendo reaccionar en una atmósfera de nitrógeno el tetracloruro de titanio y el trietil aluminio. La reacción transcurre con un intercambio entre un átomo de cloro y el grupo etílico asociado al aluminio. Se forman así dos compuestos intermedios formados respectivamente por titanio, cloro y un grupo etílico, y por aluminio, cloro y los dos grupos restantes etílicos. El cloruro de alquititanio pierde enseguida el grupo etílico, haciendo precipitar el triclorotitanio.
Este último, al unirse con el alquilo de aluminio, origina el catalizador. Es posible distinguir entre procesos catalíticos homogéneos y heterogéneos: en los primeros el catalizador está presente en la misma fase que los reaccionantes, mientras que en los segundos está presente en una fase distinta, normalmente sólida, siendo los reaccionantes líquidos o gaseosos.

Sobre estas líneas, diversos catalizadores sólidos en forma de pastillas: óxido de cromo sobre alúmina (1); plata sobre alúmina (2); óxidos de molibdeno y bismuto sobre sílice (3, 4); sílice sobre alúmina (4); cromato básico de cinc antes y después de haber sido reducido (5, 6); óxido de cobalto sobre alúmina esferoidal (7); óxido de molibdeno sobre alúmina esteroidal (8); óxidos de hierro, cromo y potasio, y óxidos de níquel y molibdeno sobre alúmina (9, 10). Una de las aplicaciones más importantes de los catalizadores se encuentra en la industria petroquímica. En las tres últimas fotos, el catalizador nuevo, compuesto por platino sobre aluminio activo (11); el catalizador ya inactivo después de tres meses de uso (12), y el mismo catalizador una vez regenerado (13).

Cazabombardero

Puede considerarse al cazabombardero algo así como el avión de combate por excelencia, el más insigne representante de una tradición histórica, además de técnica, iniciada en 1914 en los cielos de Francia.

El cazabombardero encierra en sí mismo todas las "cualidades" deseables en un buen avión de combate: velocidad, potencia de fuego, carga bélica y, sobre todo, versatilidad.

Al igual que cualquier otro tipo de avión para empleo militar, el cazabombardero comenzó su carrera "en sordina", casi por casualidad, demostrando después, poco a poco, todo su potencial a través de varias experiencias bélicas.

Los primeros cazabombarderos no fueron otra cosa que simples cazas utilizados como pequeños bombarderos para misiones particularmente arriesgadas. Así ocurrió, por ejemplo, con dos cazas *Sopwith "Tabloid"* que fueron enviados a bombardear, armados con cohetes y pequeñas bombas, las bases de los dirigibles alemanes *Zeppelin* que amenazaban a las ciudades británicas. La empresa tuvo éxito.

La especialidad de los cazabombarderos nació, pues, por casualidad, y no en los primeros tiempos de la aviación. La prueba de ello está en el hecho de que antes de que se empezasen a estudiar y proyectar verdaderos cazabombarderos, se recurrió siempre (como en el caso de los dos *"Tabloid"*) a soluciones eventuales, utilizando aviones de reconocimiento, cazas e incluso grandes bombarderos en acciones de apoyo a la infantería, de ametrallamiento y de ataque a pequeños objetivos aislados. La I Guerra Mundial, en resumen, no consiguió dar lugar a un tipo de avión que pudiese ser eficazmente y al mismo tiempo caza y bombardero.

La ocasión se presentó en el verano de 1940, cuando Inglaterra estaba entre la espada y la pared: sus aliados europeos (Francia, Holanda y Bélgica), vencidos por los ejércitos de Hitler, y sus costas, dramáticamente expuestas al peligro de una invasión nazi. La Royal Air Force había podido reunir no más de 600 aviones de combate entre *Spitfire* y *Hurricane*, y algunas docenas de bombarderos de tipo medio *Wellington*, además de algunos *Blenheim* y *Hampden*.

Hawker HK 2



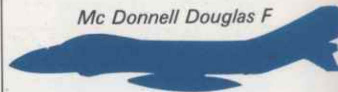
Hurricane MK II, II G.M. (GB): velocidad, 545 km/h; autonomía, 740 km; altura, 10.850 m; peso, 3.533 kg.

Lockheed P-38 F



P-38 Lightning, II G.M. (EE UU): velocidad, 636 km/h; autonomía, 724 km; altura, 11.890 m; peso, 8.165 kg.

Mc Donnell Douglas F



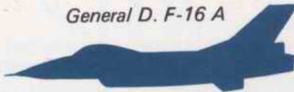
F-4 Phantom, años 60-80 (EE UU): velocidad, 2.413 km/h; autonomía, 644 km; altura, 21.640 m; peso, 27.501 kg.

Dassault-Mirage 2000



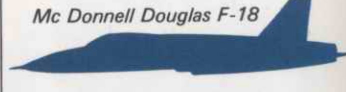
Mirage 2000, años 80-90 (FR): velocidad, 2.445 km/h; autonomía, 1.500 km; altura, 20.000 m; peso, 19.900 kg.

General D. F-16 A



F-16 Fightning Falcon, años 80-90 (EE UU): velocidad, 2.250 km/h; autonomía, 1.950 km; altura, 18.000 m; peso, 16.000 kg.

Mc Donnell Douglas F-18

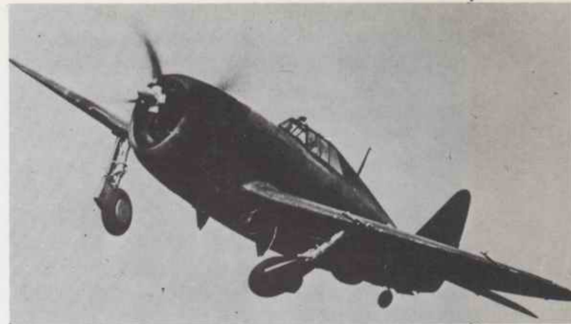


F-18 Hornet, años 80-90 (EE UU): velocidad, 2.000 km/h; autonomía, 1.740 km; altura, 15.240 m; peso, 19.900 kg.

Entonces apareció sir Geoffrey De Havilland, proyectista y constructor de aviones, con una propuesta un tanto extraña, presentada casi en broma: construir un avión que pudiera llevar un cargamento de bombas pero que no estuviese armado ni por ametralladoras ni por cañones de pequeño calibre, siendo además completamente de madera. Al principio nadie lo hubiese dicho, pero estaba a punto de nacer el nuevo cazabombardero.

El proyecto De Havilland databa del 1937 y a decir verdad consistía en un bombardero de dimensiones reducidas. El concepto de cazabombardero había encontrado mientras tanto una aplicación parcial en el bombardero en picado alemán Junkers *Ju 87 "Stuka"*; de todas formas, en esa época un aparato bimotor como el propuesto por De Havilland no podía ser considerado como un caza.

Sin embargo, en la primavera de 1941, cuando el proyectista británico, después de insistir mucho, consiguió que se aceptase su avión, la idea de un cazabombardero de ese tipo se había abierto camino,





El cazabombardero *F-16 A Fightning Falcon* tiene una perfecta línea aerodinámica, con un empalme ala-fuselaje particularmente cuidado y una notable extensión de las superficies aerodinámicas. También la particular forma del fuselaje contribuye a las dotes sustentadoras del conjunto. Un cuidadoso estudio aerodinámico, una favorable relación peso-empuje y mandos de vuelo automáticos del tipo "fly-bywire" (por impulsos eléctricos) confieren a este tipo de caza "ligero" dotes de maniobrabilidad verdaderamente excepcionales.

depósito de líquido hidráulico

turborreactor de doble flujo

antena y amplificador para contramedidas electrónicas

depósito suplementario de combustible

bomba "inteligente"

lanzacohetes

misiles aire-aire

En los cazabombarderos de la II Guerra Mundial las versiones de uno o dos motores eran muy distintas en cuanto a configuración, dimensión y peso. Sobre estas líneas (arriba) vemos el monomotor *Thunderbolt P-47* de los Estados Unidos y debajo el bimotor alemán *Messerschmitt Me 110*. Actualmente, sin embargo, las dos configuraciones difieren poco en cuanto a masas y dimensiones. En cualquier caso, todo el espacio interno está ocupado por los motores, combustible y equipos electrónicos; por lo tanto, no hay sitio para armas, excepción hecha de los cañones. En los pilones externos se fija una gran variedad de armas. Entre éstas: bombas de caída libre; *pod* (contenedores) de equipos fotográficos y otros tipos de sistemas de observación y de navegación; *pod* de equipos para la "guerra electrónica", lanzacohetes múltiples, cañones de varias bocas y gran cadencia de tiro; bombas "inteligentes", es decir, autoguiadas; misiles aire-aire de la nueva generación; depósitos suplementarios de combustible. En general, según sea la misión a realizar, se efectúa la carga de las armas adecuadas.

Misiones típicas del cazabombardero en sus intervenciones en el campo de batalla:
A) Penetración *a gran altura* para bombardeo con bombas de caída libre y/o "inteligentes", y eventual combate y evasión de los interceptadores enemigos. Armas empleadas en esta misión: 3, 4, 7, 8 y 11.

B) Ataque *a media altura* a bases aéreas, baterías de misiles antiaéreos, con supresión de los asentamientos de radar. Armas empleadas en esta misión: 1, 5, 6, 9, 10 y 11.

C) Ataque *a poca altura* a objetivos aislados (baterías antiaéreas, concentraciones de tropas y vehículos, instalaciones fortificadas). Armas empleadas en esta misión: 2, 3, 5, 10 y 11.

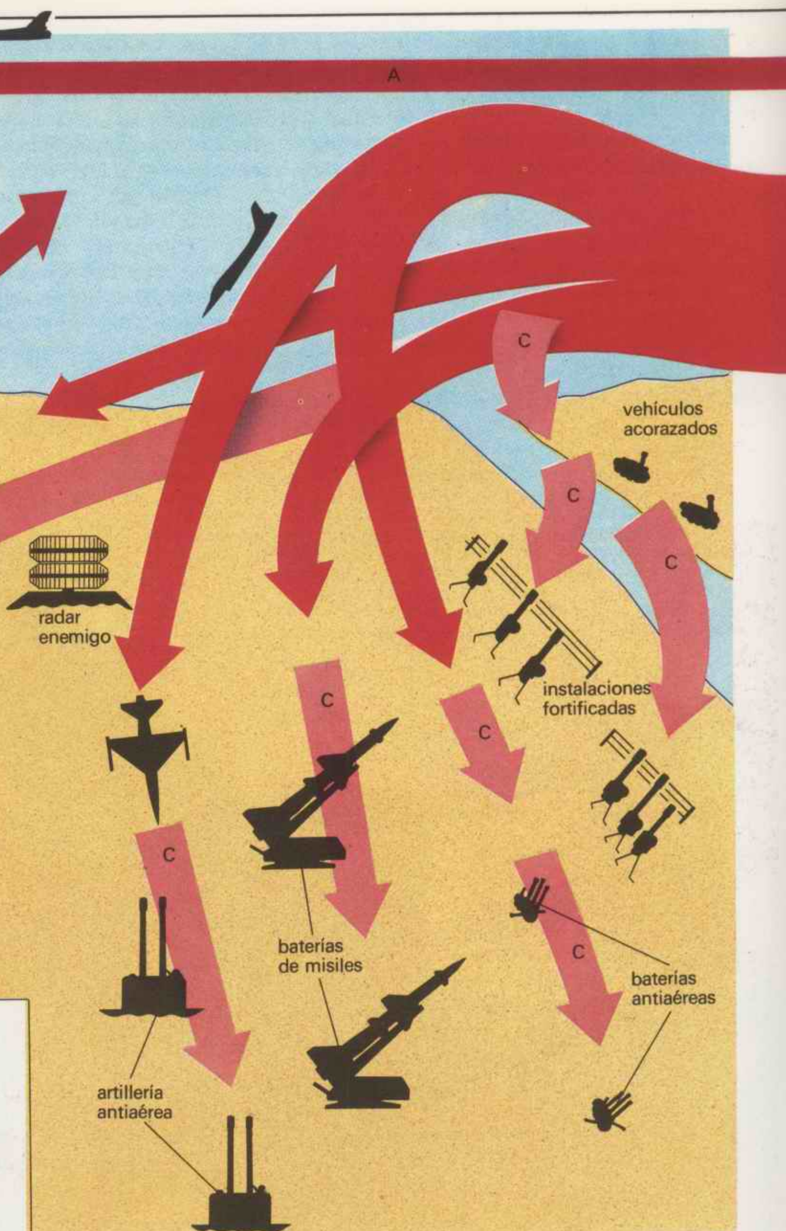
A

interceptador enemigo

C

baterías de misiles

baterías aéreas enemigas



ARMAMENTO DE UN CAZABOMBARDERO

1 bomba convencional de caída frenada
2 lanzacohetes
3 bomba convencional de caída libre
4 bomba "inteligente" (autoguiada)
5 misil aire-suelo autoguiado
6 misil antirradar
7 misil aire-aire de corto alcance
8 misil aire-aire de alcance medio
9 *pod* para contramedidas electrónicas
10 *pod* con sistema de "iluminación" de las armas teleguiadas
11 depósito de combustible suplementario



Un *SEPECAT Jaguar* en aterrizaje, con los hipersustentadores (*flaps*) y el tren de aterrizaje extendidos. Son visibles dos misiles aire-aire sobre el ala. En el recuadro situado a la izquierda de estas líneas vemos las siluetas de algunas de las más típicas armas empleadas por los cazabombarderos. La posibilidad de empleo de tales armas no depende únicamente de la capacidad del avión para sostener su peso, sino también de la necesidad de disponer de los equipos necesarios para su accionamiento y, en el caso de ingenios o misiles dirigidos, para su guiado.

y se pasó a su construcción en serie. La primera y sensacional demostración de la validez del aparato tuvo lugar en septiembre de 1941, cuando un *DH 98 "Mosquito"* —así había sido bautizado el nuevo avión— desarmado realizó una misión de observación sobre la costa septentrional de Francia: los cazas alemanes *Messerschmitt BF 109* que habían despegado para interceptarlo estaban a punto de atraparlo cuando lo vieron desaparecer a gran velocidad.

Poco tiempo después, los primeros *"Mosquito"*, dotados con 1.000 kg de bombas, fueron empleados en bombardeos de precisión, e iniciaron toda una serie de misiones especiales. Posteriormente se les versiones, desde los 590 a los 690 km/h. En las primeras variantes el techo operativo era de 8.500 metros, pero fue aumentando hasta más de 11.000 metros en las últimas versiones, dotadas de mayor envergadura. A esas alturas, ningún interceptador enemigo podía alcanzarlo y, gracias a su radio de acción, de más de 5.000 km, se convirtió en un óptimo avión de reconocimiento: en las misiones de observación fotográfica a gran altura, el *"Mosquito"* no necesitaba armamento alguno. Como bombardero propiamente dicho, podía transportar hasta 1.500 kg de bombas; en la versión cazabombardero llevaba cuatro cañones de 20 mm y cuatro ametralladoras de 7,7 mm; además de tácticas en las cuales el enemigo posee un potencial mayor.

Los modernos cazabombarderos a reacción, supersónicos en la mayoría de los casos, son capaces de alcanzar —con una amplia gama de armas y misiles aire-tierra guiados por sistemas radar, ópticos, televisivos y por láser— las pistas de los aeropuertos, estaciones de ferrocarril, nudos viarios, concentraciones de tropas, columnas acorazadas y cualquier otro objetivo de tipo táctico. Además, tratándose en último término de cazas de dimensiones considerables —basta pensar que el *F-4 Phantom II* puede transportar una carga de bombas con un poder destructivo superior al de cuatro "Fortalezas Volantes" de









Sobre estas líneas, cuatro protagonistas de la historia reciente de los cazabombarderos. Arriba, a la izquierda, el *F-18*, caza polivalente de la aviación embarcada estadounidense. Arriba, a la derecha, el *Mirage 2000*, destinado a las fuerzas de ataque de los años 90. Deriva de los aviones de combate de ala en delta de la Dassault francesa, de la que representa la última generación. Abajo, a la izquierda, el *Harrier* (en su última versión *GR 3* con mira láser), una "novedad" en el sector por su capacidad de despegue vertical, que lo hace utilísimo en el campo de batalla, siendo capaz de despegar en lugares sin pistas "convencionales", es decir, horizontales. Es también el avión ideal para ser embarcado en portaviones ligeros o de escolta. Abajo, a la derecha, un avión "especializado" en la lucha contra vehículos acorazados: es el *A-10* de la Fairchild, con un cañón de siete bocas giratorias de 30 mm y una capacidad de armamento de hasta 8 toneladas.

instalaron equipos de radar para utilizarlos como cazas nocturnos. Más tarde fueron armados con varias combinaciones de ametralladoras y cañones de pequeño calibre y se les utilizó en misiones de apoyo a las fuerzas de tierra. Los *"Mosquito"* fueron también los primeros aparatos de combate capaces de llevar cohetes aire-tierra; algunos, empleados en misiones anti-buque, tenían un cañón de 57 milímetros.

El *"Mosquito"* puede ser considerado como el avión que ha fijado los criterios operativos del moderno cazabombardero. Fue un arma ofensiva de gran potencia y extremadamente eficiente. Su proverbial velocidad pasó, a través de las sucesivas 500 kg de bombas, u 8 ocho cohetes de 27 kilogramos.

Los alemanes no consiguieron igualar, a pesar de sus logros aeronáuticos, las prestaciones y la versatilidad del *"Mosquito"*. La industria americana, por su parte, desarrolló buenos cazabombarderos, como el *Republic P-47 "Thunderbolt"*, el *Lockheed P-38 "Lightning"* y el *North American P-51 "Mustang"*.

Desde entonces, el cazabombardero representa una de las armas tácticas más válidas. Es un aparato de combate indispensable, en el sentido de que es capaz de resolver con autonomía, y a favor de las fuerzas de tierra "amigas", situaciones la II Guerra Mundial—, los modernos cazabombarderos pueden desempeñar eficazmente los cometidos típicos de los cazas puros, es decir, de los cazas interceptadores, siendo capaces de defenderse de los interceptadores enemigos y a su vez de atacarlos.

Véase **Aeronáutica militar; Aerodinámica y aeronáutica; Avión de intercepción; Bombardero**

Célula

Toda materia consta de un pequeño número de partículas elementales que, en innumerables combinaciones, da lugar a la inmensa variedad de objetos y fenómenos que percibimos a nuestro alrededor. Del mismo modo, todos los seres vivos están dotados de una organización básica: la organización celular. Las células son los organismos más sencillos capaces de vivir autónomamente; sin organización celular no hay vida.

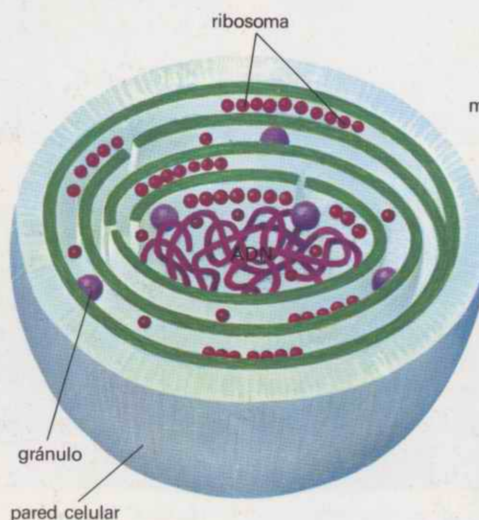
Aunque en estos últimos años los científicos han descubierto muchos de los secretos de la vida celular, nuestro conocimiento de la célula se remonta a tiempos relativamente recientes. En el año 1665, Robert Hooke describió sus observaciones sobre los elementos componentes de un trozo de corcho que estudiaba al microscopio; denominó a esos elementos "células" o "celdillas" porque le recordaban las celdas de los monjes. Las células vegetales, como las del corcho que Hooke estudiaba, tienen una forma regular y perfectamente definida por estar rodeadas de una pared celular rígida; las células animales carecen de pared celular, estando delimitadas por una fina y flexible membrana, por lo que su forma no es tan regular ni está tan bien definida; si, al hacer su descubrimiento, Hooke hubiera estudiado células animales, seguramente las habría denominado de un modo muy distinto; en cualquier caso, él describió lo que vio, y el nombre que propuso, el de *célula*, se ha mantenido vigente.

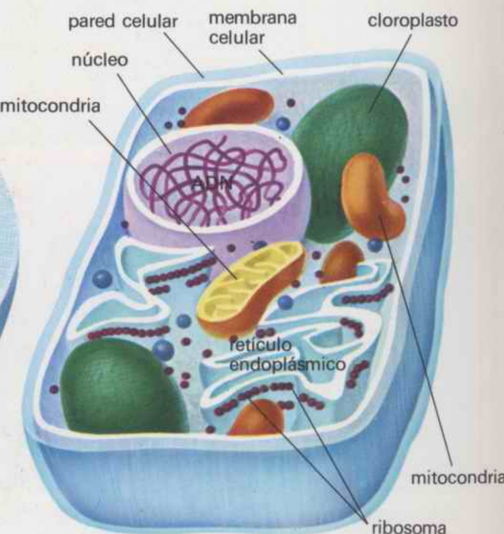
La teoría celular La teoría celular sostiene que la célula es el elemento morfológico y funcional fundamental de los seres vivos; según esta teoría toda descripción precisa de la estructura o las funciones de un organismo debe darse en términos de estructuras y funciones celulares.

Los fundamentos de la teoría celular no fueron establecidos hasta el inicio del siglo XIX. Jean Baptiste de Lamarck, un naturalista francés muy conocido por sus aportaciones a la teoría de la evolución, afirmó en el año 1809 que toda la vida depende de la organización celular. Esta idea fue desarrollada y confirmada, entre 1838 y 1839, por dos científicos alemanes, el zoólogo Theodor Schwann y el botánico Matthias Schleiden. El físico, también alemán, Rudolf Virchow sugirió en el año 1858 que todos los organismos deben originarse a partir de células vivas preexistentes, es decir, que no hay generación espontánea de seres vivos a partir de la materia inerte. Fue en 1862, cuatro años después de que Virchow propusiera su hipótesis, cuando el francés Louis Pasteur consiguió demostrar experimentalmente dicho principio, hoy universalmente admitido; hasta ese momento, bien por haber diseñado incorrectamente los experimentos, bien por no haberlos llevado a cabo de la forma adecuada, habían fracasado los esfuerzos de todos los que habían intentado probar la imposibilidad de la generación espontánea.

El que actualmente se sepa que todo ser vivo procede necesariamente de otro preexistente plantea el problema del origen de la vida sobre nuestro planeta. Aunque no hay una solución unánimemente aceptada a ese problema, se sospecha que durante las primeras etapas de la historia de la Tierra las condiciones reinantes fueron tales que hicieron posible el surgimiento de la vida a partir de la materia inorgánica.

Los microscopios, instrumentos para observar las células La mayoría de las células son tan pequeñas que para observarlas debemos ayudarnos de aparatos especiales. El primero que se inventó fue el *microscopio óptico*, basado en la transmisión de luz visible. Desgraciadamente, este aparato presenta todavía considerables limitaciones, no posibilitando el distinguir detalles de las pequeñas estructuras que hay en el interior de las células; hasta la invención del *microscopio electrónico* no pudieron observarse dichos detalles ni comprobarse la existencia de ciertas estructuras subcelulares, antes tan sólo barruntadas; el microscopio electrónico permitió asimismo descubrir elementos subcelulares previamente insospechados.





Según la complejidad de sus células, los organismos se dividen en procariotas y eucariotas. Los primeros, a los que pertenecen las arquibacterias, las eubacterias y las cianobacterias (antes algas cianofíceas), son los más sencillos y su material genético flota en contacto directo con el citoplasma. Los eucariotas, a los que pertenecen todos los demás organismos, son más complejos y su material genético está separado del citoplasma por membranas intracelulares, entre ellas la membrana nuclear que delimita un núcleo verdadero, del que carecen los procariotas. Sobre estas líneas, a la izquierda, una representación muy esquemática de una célula procariota; a la derecha, de una eucariota.

En lugar del haz de luz visible del óptico, el microscopio electrónico, y de ahí su nombre, emplea un haz de electrones para visualizar el objeto bajo estudio. Los electrones atraviesan la preparación e impresionan una placa fotográfica, sobre la que se registra una imagen de la preparación; dicha fotografía es lo que nosotros realmente vemos. El microscopio electrónico permite distinguir objetos más pequeños que los que permite el óptico, y objetos hasta diez mil veces más pequeños que los observables a simple vista, porque la longitud de onda de los electrones es mucho más corta que la de los fotones de la luz visible.

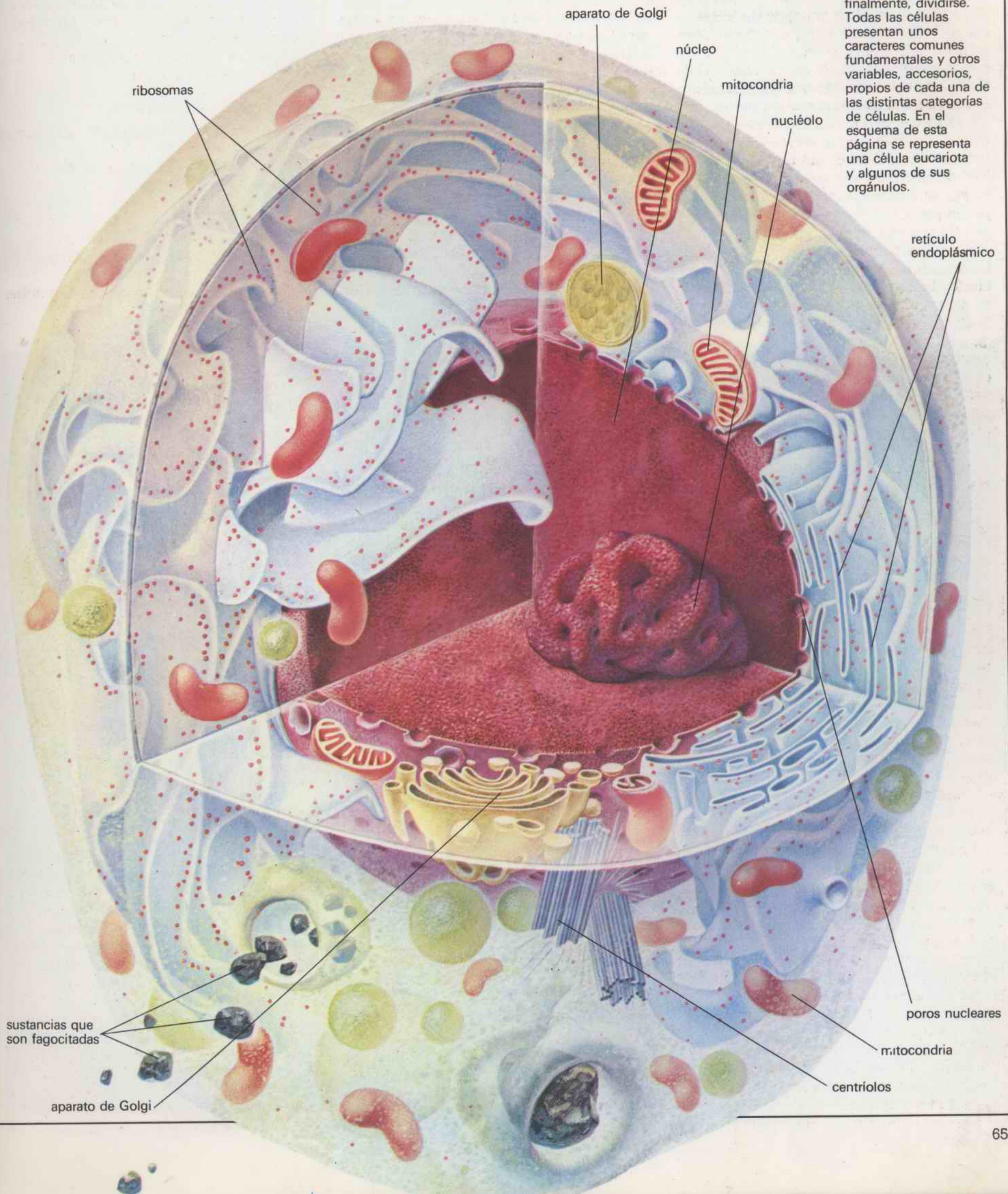
El *microscopio electrónico de barrido*, en el que se envuelve el objeto a observar en una nube de electrones, lo que proporciona imágenes tridimensionales, constituye una mejora ulterior del microscopio electrónico normal.

Las técnicas de tinción selectiva de células y tejidos mediante colorantes específicos, que hacen resaltar determinadas estructuras sobre el fondo de la imagen, constituyen el complemento ideal del microscopio y han resultado de gran utilidad para estudiar las células.

Los constituyentes de las células Todas las células, sin excepción alguna, están delimitadas externamente por una fina *membrana*, elemento indispensable de la organización celular. La membrana desempeña funciones esenciales para la vida celular. La célula debe vivir inmersa en un ambiente apropiado, del cual debe obtener los nutrientes necesarios para su vida y de cuyos agentes nocivos debe protegerse; la membrana juega ese doble papel de asimilación y protección. Además, la célula debe excretar al ambiente los residuos inútiles o tóxicos producidos por su metabolismo, tarea que también lleva a cabo la membrana. En los organismos pluricelulares, en los que ciertas células segregan sustancias que otras células necesitan, la membrana participa activamente en lo que podríamos llamar un intercambio de mercancías y servicios entre células. La membrana también está implicada, en esos seres pluricelulares, en la regulación de la reproducción celular durante el desarrollo del individuo, control cuyos fallos originan los cánceres.

El microscopio óptico no permite visualizar la estructura de la membrana; no obstante, aun sin haber visto la membrana ni sus componentes, los científicos Davson y Danielli, basándose en los resultados de análisis químicos y en la facilidad o dificultad con que diversos tipos de moléculas penetran en las células, propusieron, hacia finales de los años treinta, un modelo según el cual la parte interna de la membrana debía estar compuesta por dos capas de fosfolípidos, cadenas moleculares complejas cuyos dos extremos tienen propiedades distintas: una extremidad es hidrófoba y la otra hidrófila. En el modelo de Davson y Danielli, las dos capas de fosfolípidos están adosadas la una a la otra por sus extremos hidrófobos, que quedarían así en la zona central de la membrana, mientras que el extremo hidrófilo de la capa externa daría hacia el ambiente, y el de la capa interna, hacia el interior de la

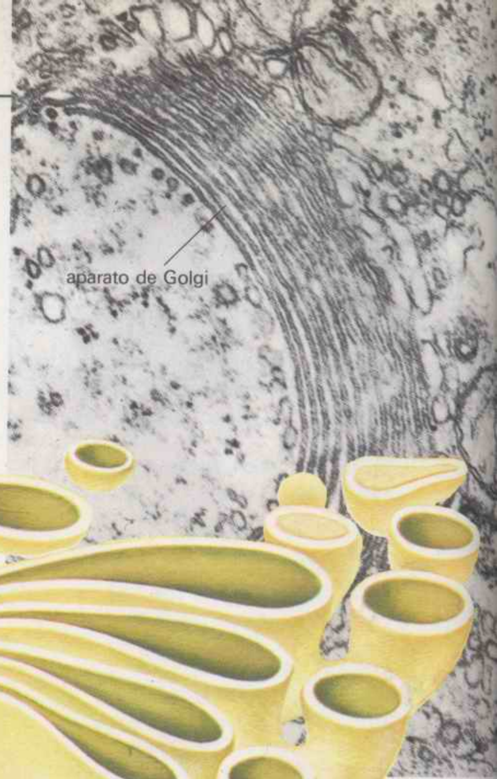
La célula, unidad elemental de la vida, es la parte más pequeña de un organismo capaz de vivir y reproducirse autónomamente. La vida es un fenómeno que aparece siempre ligado a la organización celular; el estudio científico de las células persigue averiguar por qué la vida es una prerrogativa de la organización celular. La célula es un sistema abierto, que intercambia continuamente con el ambiente sustancias y energía, y que lleva a cabo la síntesis de sustancias complejas a partir de otras más simples, lo que le permite reproducir sus partes constitutivas y, finalmente, dividirse. Todas las células presentan unos caracteres comunes fundamentales y otros variables, accesorios, propios de cada una de las distintas categorías de células. En el esquema de esta página se representa una célula eucariota y algunos de sus orgánulos.



célula. La membrana estaría atravesada por poros cuya luz constaría de extremos hidrófilos. Los extremos hidrófilos, externo e interno, estarían recubiertos por sendas capas casi continuas de proteínas.

Sólo gracias al enorme poder de aumento del microscopio electrónico pudo, finalmente, demostrarse sin dudas la existencia morfológica de la membrana y aclararse en detalle su organización. En la actualidad se acepta generalmente como modelo correcto de la estructura de la membrana el llamado de "mosaico fluido", descrito en el año 1972 por S. J. Singer, de la universidad de California, y por G. L. Nicolson, del Salk Institute, modelo en el cual las proteínas no forman una capa continua sino que están dispersas en diferentes zonas de la superficie de la membrana y, en parte, penetran en la doble capa lipídica. Ni las proteínas ni los lípidos ocupan una posición fija, sino que pueden moverse, y de hecho lo hacen, una cierta distancia. Además, los poros, que intervienen en el flujo de iones y moléculas a través de la membrana, resultaron no estar recubiertos de lípidos, sino constituidos por moléculas proteicas, y en algunos casos consisten simplemente en un sendero presente en el interior de determinada proteína.

En estas dos páginas se representan algunos de los orgánulos celulares más importantes. Arriba, a la derecha, fotografía al microscopio electrónico, y debajo imagen esquemática, del aparato de Golgi, conjunto de cisternas membranosas que interviene en el proceso de secreción. Más abajo, la membrana celular, una estructura lipoproteica a modo de máquina que aprovecha la energía extraída en el metabolismo celular para bombear partículas desde el exterior hacia el interior de la célula y viceversa, y que regula el volumen celular.





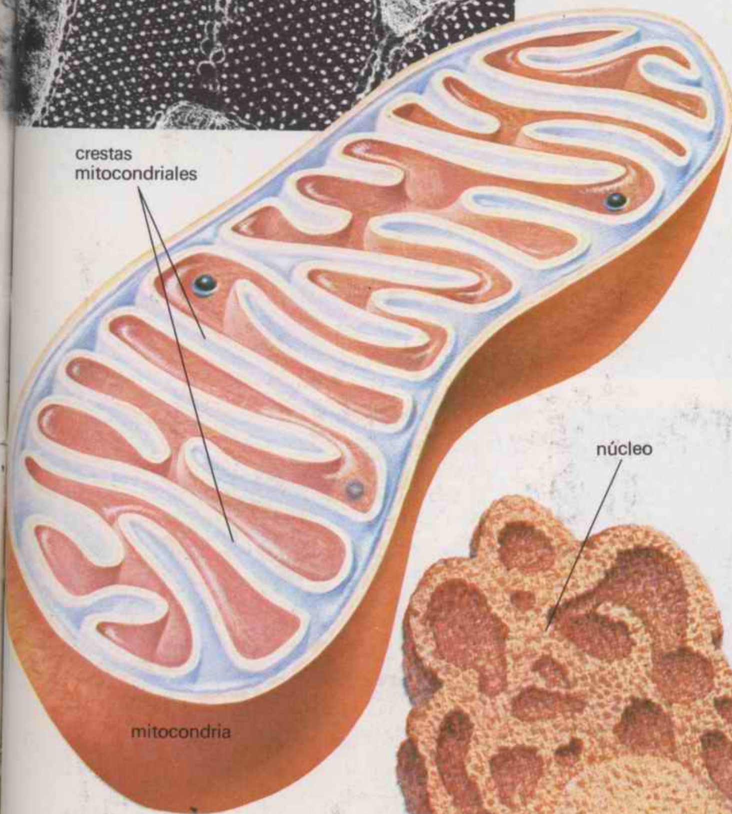
Prof. Lanzavecchia. Instituto de Zoología. Milán

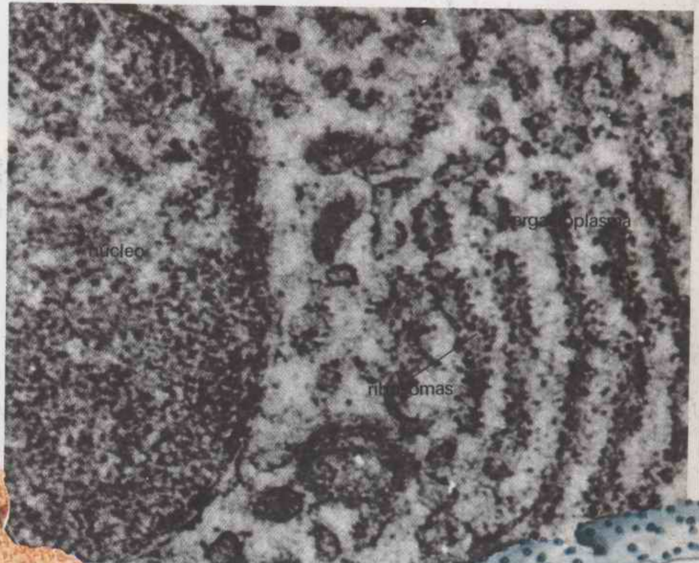
Sección de Zoología y Citología, Departamento de Biología. Milán.

El interior de la membrana está lleno de una mezcla compleja de moléculas en continua transformación: el *citoplasma*. En el citoplasma tienen lugar muchas de las reacciones del metabolismo y se sintetizan las proteínas de la célula. La síntesis de las proteínas se realiza en unos orgánulos celulares, visibles tan sólo al microscopio electrónico, de forma aproximadamente esférica, llamados *ribosomas*. Cada ribosoma consta de dos subunidades distintas, ambas compuestas de proteínas y ácido ribonucleico (ARN) ribosomal. La síntesis de una proteína consiste en el ensamblaje en un orden preciso de los aminoácidos que la constituyen; para ello es necesario que, primero, el aminoácido sea "activado" mediante unión a un ácido ribonucleico pequeño y específico del aminoácido, el ácido ribonucleico transferente (ARNT), para luego ser transferido a la proteína naciente en un orden predeterminado por la secuencia de nucleótidos de un tercer tipo de ARN, el ARN mensajero de esa proteína.

En todas las células, los tres tipos de ARN necesarios para la síntesis de cada proteína se sintetizan ensamblando sus nucleótidos constituyentes en un orden predeterminado por el de los nucleótidos de un segmento de una larguísima molécula del otro tipo de ácido nucleico presente en la célula: el ácido desoxirribonucleico (ADN). Cada uno de esos segmentos funcionalmente distintos del ADN se denomina un *gen*. Los genes no sólo controlan el metabolismo celular dirigiendo la síntesis de los ácidos ribonucleicos de la célula, sino que son los responsables del fenómeno de la herencia biológica: los genes pueden formar copias de sí mismos, copias que se transmitirán de generación en generación cuando la célula se divida para formar nuevas células. Además, en los organismos pluricelulares, dotados de diversos tipos de células, la estructura y función de cada tipo de célula dependen del subconjunto específico de genes que se expresen, del total común de genes de las diferentes células de ese organismo,

A la izquierda, esquema de una mitocondria en el que son bien visibles la membrana externa y la membrana interna, que se pliega formando las crestas mitocondriales. Arriba, sección de una mitocondria vista al microscopio electrónico.





núcleo

nucléolo

centriolo

ribosomas

membrana del ergastoplasma

mitocondria

ergastoplasma

membrana nuclear

poro

núcleo

A la derecha, esquema del núcleo, en cuyo interior se puede reconocer el nucléolo. El núcleo está separado del citoplasma por una membrana doble, la membrana nuclear, provista de "poros" que permiten, selectivamente, el paso de ciertas moléculas. Debajo vemos representado el centríolo, estructura cilíndrica que, en las células animales, interviene en el proceso de la mitosis. El retículo endoplásmico rugoso o ergastoplasma (a la derecha: es visto al microscopio electrónico, y debajo, en una reconstrucción tridimensional), presente en muchas células, resulta particularmente abundante en las células que sintetizan activamente proteínas, como las células de las glándulas que segregan proteínas, por ejemplo, las de las parótidas y las del páncreas exocrino.

en ese tipo de células. Así, el ADN participa en las tres funciones más importantes de la célula: reproducción, metabolismo y diferenciación.

En las células de las bacterias y las algas cianofíceas el ADN no está separado del citoplasma por membrana interna alguna; estas células se llaman *procariotas*, que significa "provistas de un núcleo primitivo". En las células de todos los demás organismos, es decir, de protozoos, algas, hongos, plantas y animales, el ADN se encuentra siempre en orgánulos celulares separados del citoplasma por una membrana; estas células se denominan *eucariotas*, que significa "provistas de un núcleo verdadero".

En las células eucariotas, y de ahí su nombre, la mayor parte, del ADN se encuentra en un orgánulo llamado *núcleo*, delimitado por una *membrana nuclear*. La membrana núclear es tan selectiva como la membrana celular a la hora de determinar cuáles sustancias deben atravesarla y cuáles no. Independientemente de su tamaño, muchas moléculas que atraviesan fácilmente la membrana celular son detenidas por la nuclear, mientras que grandes macromoléculas, que no salen de la célula al ambiente, como los ARN mensajeros y ribosómicos, son exportadas fácilmente del núcleo al citoplasma.

El ADN del núcleo de las células eucariontes se encuentra unido a unas proteínas especiales, llamadas *histonas*, formando unas estructuras largas, filiformes, que sólo se hacen claramente visibles en el momento de la división celular: los *cromosomas*. La mayor parte de los genes de los organismos eucariontes se localiza en los cromosomas, que pueden describirse cómo hileras lineales de genes. Cada especie de organismo eucarionte tienen un número típico de cromosomas.

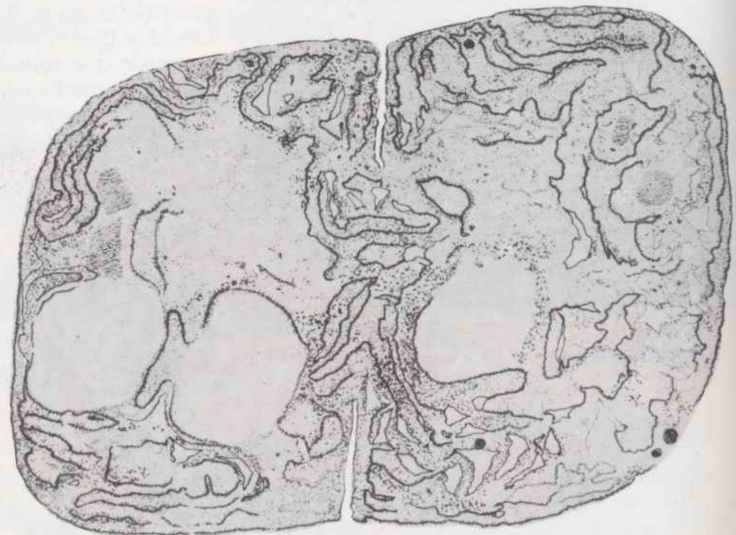
Algunos de los cromosomas de la célula llevan, agrupados en una zona llamada *organizador nucleolar*, los genes que dirigen la síntesis de los ARN ribosómicos; la acumulación de ARN ribosómico recién sintetizado en torno a esas zonas determina la aparición de unos orgánulos, —visibles sólo en células que no se estén dividiendo—, intranucleares, más o menos esféricos, densos, llamados *nucléolos*. En las células que no estén sintetizando proteínas, lógicamente no son necesarios los ribosomas y los nucléolos son pequeños o inexistentes.

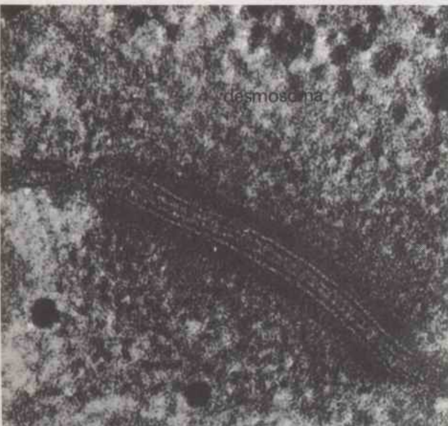
El resto del ADN de las células eucariontes se encuentra en orgánulos subcelulares, también provistos de su propia membrana, denominados *mitocondrias* y *cloroplastos*. El hecho de que en las células procariotas el ADN esté directamente en contacto con el citoplasma, mientras que en las eucariotas se encuentre repartido en diversos orgánulos, pero siempre separado del citoplasma por membranas intracelulares, ha hecho suponer que las células eucariontes derivan de predecesores sin mitocondrias ni cloroplastos que, en el curso de la evolución, entraron en simbiosis con organismos procariotas, inicialmente independientes, que acabaron por convertirse en los actuales mitocondrias y cloroplastos. En apoyo de esa hipótesis figura el hecho de que ambos tipos de orgánulos estan dotados de continuidad genética, es decir, que no pueden formarse "de novo", sino sólo a partir de otros preexistentes de su mismo tipo; y el de que ambos posean su propio sistema de síntesis de proteínas, ribosomas incluidos, distinto del citoplásmico dirigido por los genes nucleares.

Las mitocondrias son pequeños cuerpos de forma variada, normalmente esférica o de bastoncillo con los extremos curvos, que se encuentran en casi todas las células eucariotas. En estos orgánulos tienen lugar las reacciones mediante las cua-

Aquí al lado, en la fotografía en color, células vegetales parenquimáticas, en las que la pared celular se ha espesado tanto que prácticamente ha obliterado el lumen celular. Debajo, estructura especial de unión, llamada *desmosoma*, entre células epiteliales. Más abajo, a la izquierda, sección transversal de flagelo, en la que se pueden ver los microtúbulos del eje del flagelo; a la derecha, siempre al microscopio electrónico, espermatozoide de un anélido poliqueto.

Dr. Albergoni





Lanzavecchia, instituto de Zoología. Milán





...cción de Zoología y Citología. Departamento de Biología. Milán

les la célula extrae la energía química contenida en los alimentos y la convierte en una forma de energía química susceptible de ser utilizada por el resto de la célula para el gran número de actividades que necesitan de un aporte de energía para ser realizadas.

Los cloroplastos pertenecen a una familia de orgánulos intracelulares presentes en la mayoría de las células vegetales, pero nunca en las células de protozoos, hongos ni animales, familia que se denomina colectivamente *plastos*. Los plastos se clasifican, según su color, en leucoplastos, que son blancos, y cromoplastos, que son coloreados; de entre éstos, los más importantes son los cloroplastos, que contienen el pigmento verde clorofila.

Los leucoplastos sirven para almacenar sustancias de reserva, como almidón y menos frecuentemente, proteínas o aceites esenciales. Abundan en los órganos de reserva.

Los cromoplastos contienen diversos pigmentos, como los carotenoides, de color amarillo o naranja. Abundan en pétalos y frutos, a los que dan sus colores típicos; también colorean las hojas carentes de clorofila durante el otoño.

La clorofila capta la energía de la luz de longitud de onda apropiada, y puede ser también estimulada por energía luminosa de otras longitudes de onda captada inicialmente por pigmentos carotenoides. La energía solar así captada es convertida en una forma de energía química utilizable por la célula y empleada en sintetizar moléculas orgánicas complejas y ricas en energía, como la glucosa, a partir de moléculas más sencillas, como el dióxido de carbono. Este proceso se denomina *fotosíntesis* y es esencial a toda la vida en nuestro planeta, puesto que, en última instancia, proporciona la energía biológicamente utilizable de todos los seres vivos.

Las células eucariotas tienen mayores dimensiones que las procariotas; en consecuencia, el transporte de sustancias de unas partes a otras de la célula eucariota necesita de sistemas especializados, que consisten esencialmente en un complejo de orgánulos membranosos interconectados, del que carecen las células procariotas. Dicho complejo está formado por el *retículo endoplásmico*, el *aparato de Golgi*, el *sistema vacuolar* y diversos tipos especializados de vacuolas, como los *lisosomas* y los *peroxisomas*.

El retículo endoplásmico es un sistema dinámico de membranas, que forman túbulos o cisternas, dispuesto como una compleja red en el interior del citoplasma y conectado tanto a la membrana celular como a la nuclear. Funciona como un conjunto de vías de tránsito de materiales del exterior al interior, y viceversa, y entre distintas partes de la célula. En algunos casos, la membrana del retículo endoplásmico tiene adheridos ribosomas a su superficie exterior, formando el llamado *retículo endoplásmico rugoso*, por su aspecto al microscopio electrónico. Las proteínas sintetizadas en esos ribosomas pasan a la luz de los túbulos del retículo endoplásmico, donde son concentradas y transportadas al lugar en que deban funcionar.

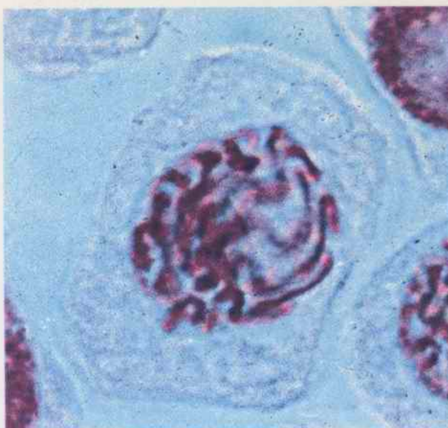
En el año 1898 el italiano Camilo Golgi describió un orgánulo intracelular que se impregnaba con tinción argéntica y que, aunque en esa época no era posible visualizarlo claramente ni siquiera con el mejor microscopio disponible, él denominó *aparato reticular interno*; hoy en día se le llama comúnmente *aparato de Golgi* en honor a su descubridor.

El microscopio electrónico hizo posible confirmar con seguridad su existencia y describirlo en detalle. El aparato de Golgi consiste en un conjunto de cisternas membranosas, bolsas de forma plana y alargada, dispuestas paralelamente unas a otras, formando una especie de casquete colocado frecuentemente cerca del núcleo. Su función principal es almacenar, concentrar y modificar sustancias que deben ser secretadas al exterior por la célula.

Las vacuolas son cavidades delimitadas por una membrana dotada de permeabilidad selectiva puede retener ciertas sustancias y dejarse atravesar por otras en tanto la célula permanezca viva. Las vacuolas almacenan sustancias muy distintas, desde nutrientes hasta productos de desecho. En ciertas células vegetales la mayor parte del área celular llega a estar ocupada por una gran vacuola con una disolución acuosa de nutrientes.

Los lisosomas y peroxisomas son pequeñas cisternas membranosas que contienen enzimas cuyo contacto directo con el citoplasma dañaría a la célula. Los lisosomas contienen enzimas digestivos, que degradan proteínas, ácidos nucleicos y polisacáridos; normalmente el lisosoma funciona fundiendo su membrana con la de alguna pequeña vacuola que contenga sustancias a digerir, posibilitando así el contacto de los enzimas con sus sustratos sin dañar la célula; en otras ocasiones, el lisosoma libera su contenido al citoplasma provocando una autolisis celular, normal o patológica según las circunstancias.

Las peroxisomas contienen catalasa, que degrada el agua oxigenada, un tóxico para la célula, y otros enzimas, como fosfatasa.



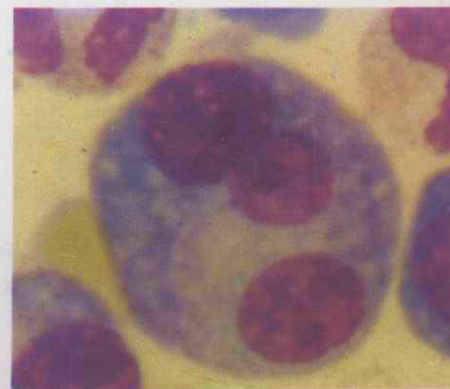




En la página anterior, en el centro, división de una célula procariota, en la que el ADN, que está en contacto directo con el citoplasma, se reparte entre las dos células hijas. En la célula eucariota, la mayor parte del ADN está en los cromosomas. Sobre estas líneas, algunas fases de la cariocinesis, es decir, del conjunto de procesos mediante los cuales se divide el núcleo de las células eucariotas, y mediante el cual el material genético, situado en los cromosomas, se reparte por igual entre los dos núcleos hijos.

Arriba, la profase, en la que se hacen claramente visibles los cromosomas como entes individuales. En el centro, una anafase avanzada, en la que una de las dos cromátides de cada cromosoma emigra a uno de los polos opuestos. Finalmente, abajo, telofase o fase final de la cariocinesis, en la que los cromosomas, en un proceso inverso al de la profase, se descontraen y relajan hasta hacerse indistinguibles. A la derecha, célula cancerosa.

Véase **Biología; Biología molecular; Clorofila; Cromosoma; Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos; Fotosíntesis; Genes; Microscopio; Núcleo atómico**



Célula de Kerr

Con una cámara fotográfica normal se pueden hacer fotografías que "congelen" el movimiento de una carroza, un pájaro en vuelo u otros objetos que se mueven con velocidades relativamente bajas. Esto se puede conseguir porque el movimiento del obturador, que abre y cierra mecánicamente la cortina para que la luz llegue a la película sólo en el instante de hacer la foto, es muy rápido comparado con los demás movimientos. Sin embargo, las imágenes de objetos que se muevan rápidamente, como un coche de carreras, saldrán "movidas" en la fotografía. Para conseguir que la imagen quede congelada son necesarias cámaras fotográficas con un obturador más rápido que los utilizados habitualmente.

La velocidad de funcionamiento de los obturadores mecánicos tiene un límite máximo de aproximadamente 1/3.000 de segundo. Para hacer fotografías que no estén "movidas" de objetos que se desplazan a velocidades muy altas, como una bala disparada por una pistola, ondas de choque, explosiones y reacciones nucleares, se han utilizado obturadores especiales cuyo funcionamiento no es mecánico. Uno de ellos es el obturador electroóptico con célula de Kerr.

El obturador con célula de Kerr es un dispositivo que se basa en el descubrimiento que hizo en 1875 el físico escocés John Kerr mientras estudiaba el comportamiento de la luz cuando pasaba a través de ciertos líquidos inmersos en campos eléctricos. Su hallazgo fue el descubrir que los campos eléctricos modifican la polarización de la luz que atraviesa el líquido.

Luz polarizada El ojo humano puede distinguir un gran número de características de un haz luminoso, como el color, la dirección de propagación y la intensidad, pero no su estado de polarización. La luz puede estar polarizada debido a su naturaleza ondulatoria.

La luz consiste en la propagación de energía en el espacio en forma de ondas electromagnéticas, resultado de la interacción de campos eléctricos y campos magnéticos variables (campo es la región del espacio en la que se manifiesta el efecto de una fuerza). Se habla de ondas porque la intensidad de estos campos aumenta y disminuye de la misma forma que suben y bajan las olas (ondas) del mar.

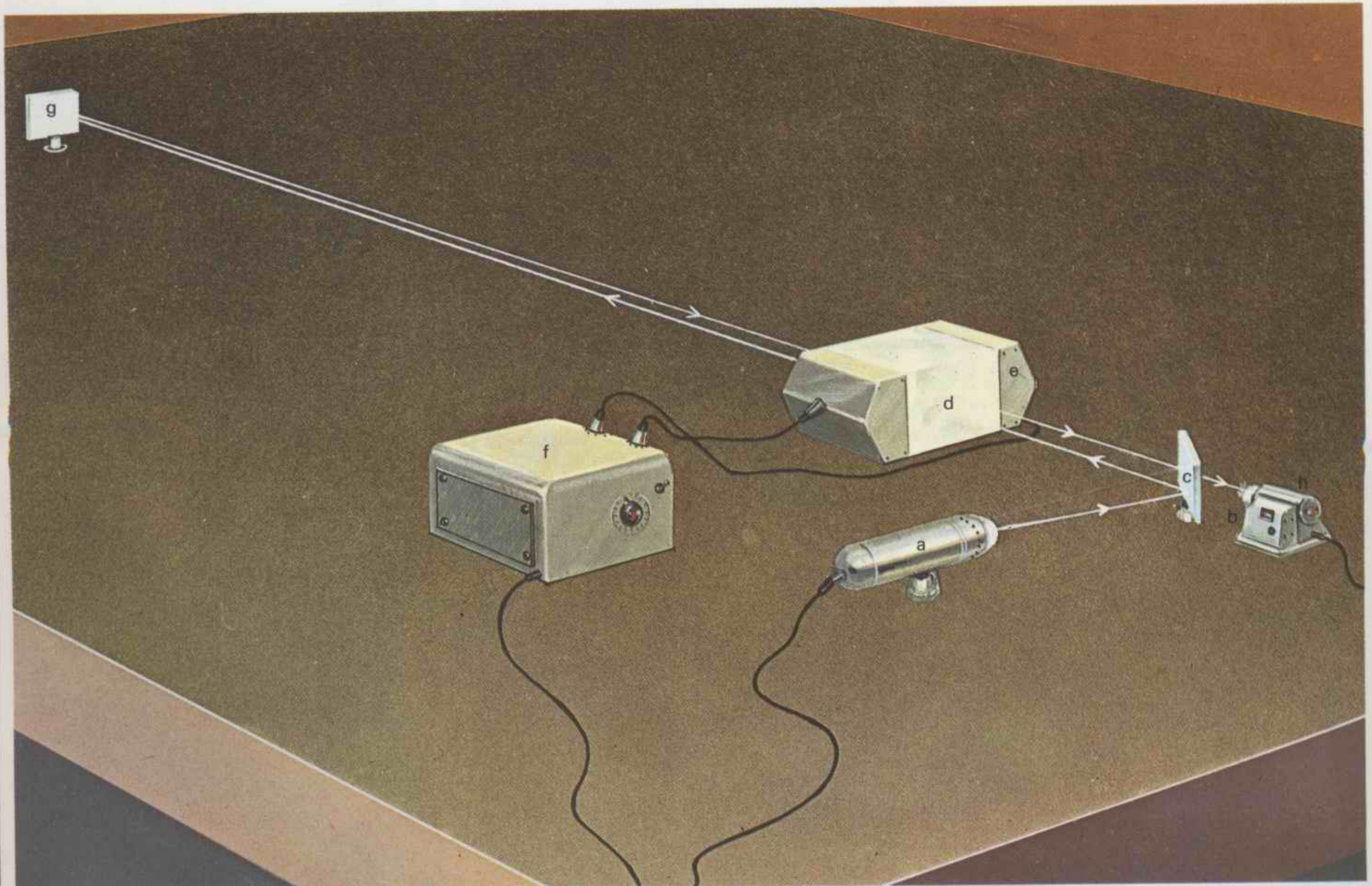
Las ondas electromagnéticas se parecen a las olas del mar también en otro aspecto: cuando una ola se desplaza horizontalmente en el mar, cada cresta está formada por moléculas de agua que se mueven verticalmente hacia arriba y hacia abajo al pasar la ola. Una onda cuyas variaciones se producen en dirección perpendicular a su dirección de propagación se llama *onda transversal*.

La luz y otras ondas electromagnéticas son ondas transversales, pero a diferencia de las olas del mar, que se mueven únicamente hacia arriba y hacia abajo, en las ondas electromagnéticas los campos pueden variar transversalmente en dirección vertical, horizontal o diagonal, siempre que sea una dirección perpendicular a la de propagación. Como ejemplo se puede considerar una cuerda larga atada por un extremo a un árbol mientras que la otra punta se mueve rápidamente arriba y abajo con la mano. Estas ondas son transversales porque a medida que la onda se desplaza por la cuerda, cada parte de ésta se mueve sólamente hacia arriba y hacia abajo. También se pueden producir ondas transversales moviendo la mano a derecha e izquierda o en una dirección diagonal.

Se dice que un haz de rayos luminosos está polarizado cuando todas las ondas que lo forman son transversales en la misma dirección, es decir, las variaciones se producen en un plano. Un filtro polarizador "polariza" la luz, anulando todos los movimientos transversales excepto los que se producen en un determinado plano. El efecto se puede comparar al que se obtiene colocando dos tablas de madera a ambos lados de la cuerda del ejemplo anterior y a mitad de camino entre la mano y el árbol. Si la cuerda se mueve entre las tablas y el árbol, lo hará sólo en el plano vertical.

Dos filtros de este tipo colocados de manera que formen un ángulo recto uno respecto al otro bloquearían totalmente el movimiento.

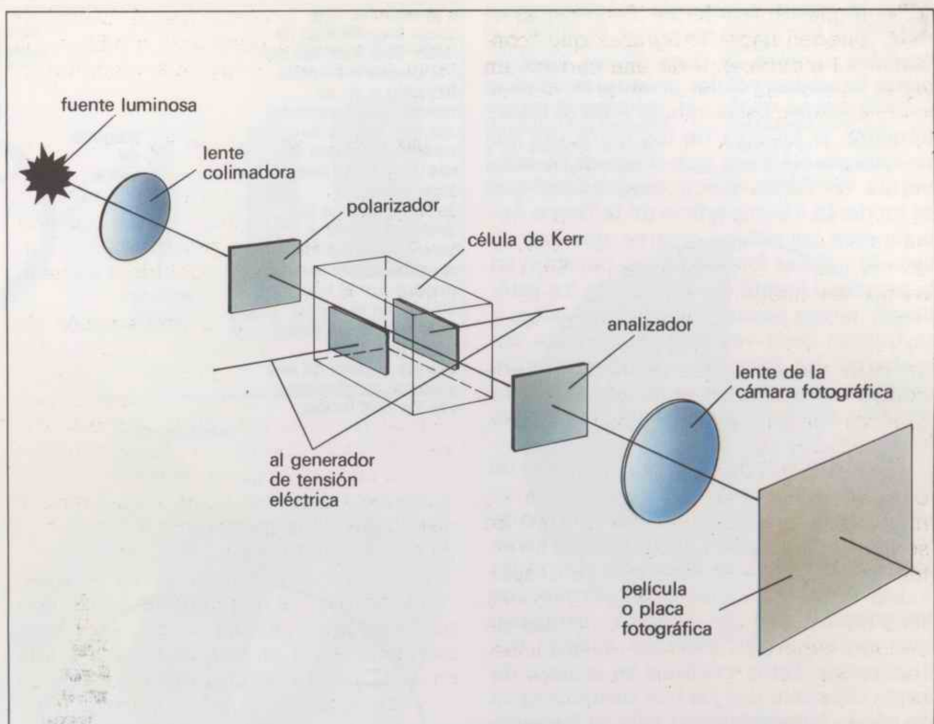
Un obturador con célula de Kerr está

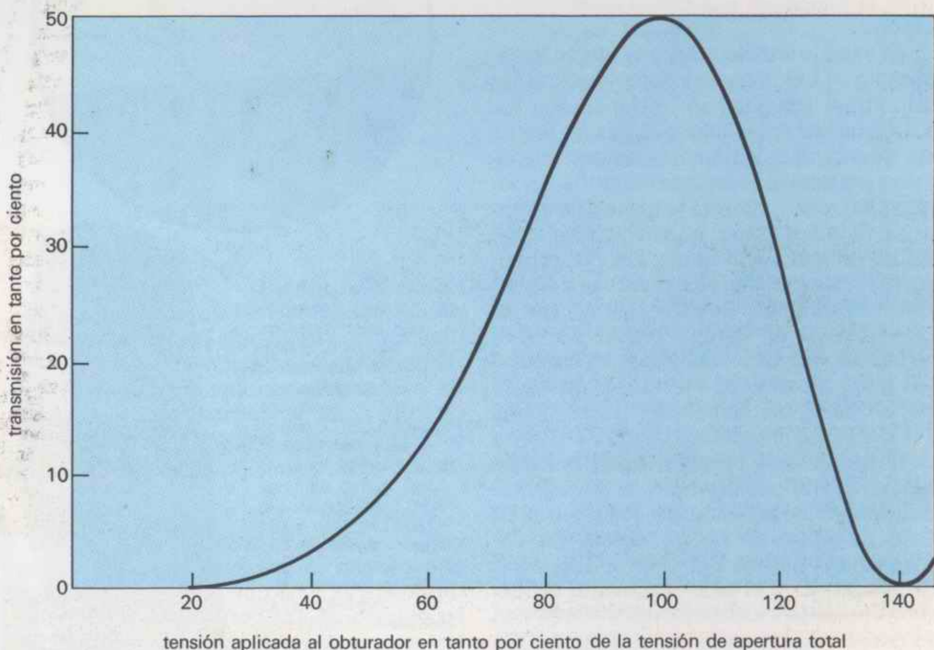


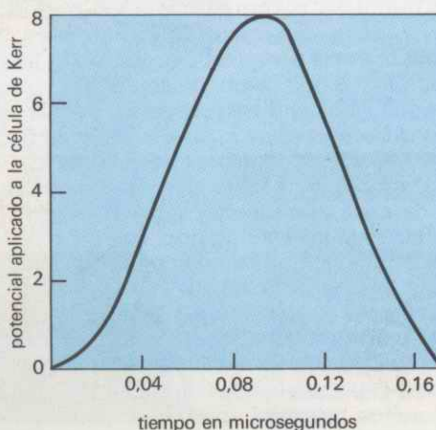
formado por dos filtros polarizadores colocados en ángulo recto uno respecto al otro. Entre ellos se encuentra un pequeño recipiente, llamado *célula de Kerr*, que contiene un líquido transparente —nitrobenceno— y un dispositivo electrónico capaz de producir un campo eléctrico. Cuando está dentro de un campo eléctrico, el nitrobenceno hace girar el plano de polarización de la luz que lo atraviesa, modificando el plano de variación de las ondas a medida que éstas se propagan. Cuando no se aplica campo eléctrico, el obturador no permite el paso de luz porque los filtros polarizadores están situados perpendicularmente. Al aplicar el campo eléctrico, el nitrobenceno hace que gire el plano de polarización de la luz polarizada por el primer filtro, y por tanto puede atravesar el segundo filtro. Un obturador de este tipo puede funcionar a velocidades mucho mayores que un obturador mecánico.

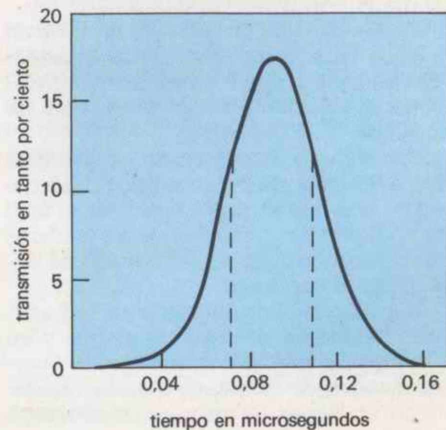
Obturadores de alta velocidad Los obturadores con célula de Kerr tienen velocidades del orden de algunas trillonésimas de segundo, pero este tipo de obturador electroóptico es sólo uno de los diversos tipos de obturador de alta velocidad. Otros tipos de obturador son los de efecto Faraday y los obturadores magnetoópticos, que están basados en el mismo principio con la diferencia de que el giro del plano de polarización de la luz se obtiene aplicando campos magnéticos en lugar de campos eléctricos. Otro tipo de obturador de alta velocidad utiliza también campos eléctricos aprovechando unos dispositivos llamados *tubos conversores de imagen*.

Véase **Láser; Luz polarizada; Movimientos ondulatorios; Optoelectrónica; Polarografía**









A la izquierda, aparato utilizado para medir la velocidad de la luz con una célula de Kerr. Está formado por una fuente de luz (a), una lente (b), un cristal reflectante semiplateado (c), una célula de Kerr (d) colocada entre dos placas metálicas (e), un generador de tensión alterna de alta frecuencia (f), un espejo (g) y una fotocélula (h). Aplicando la tensión de alta frecuencia a la célula de Kerr, la luz podrá atravesar la célula alternadamente tanto en el sentido de ida como en el de vuelta. Cuando la célula no recibe la luz del espejo (g), significa que el tiempo utilizado para hacer el recorrido doble es igual al tiempo que utiliza la tensión alterna para invertir su polaridad. Con este dato y conociendo la distancia entre la célula y el espejo se obtiene la velocidad de la luz. Arriba, a la derecha, la célula de Kerr utilizada como obturador. En el diagrama del centro, la curva de transmisión (en tanto por ciento) en función de la tensión aplicada (también en tanto por ciento). En los dos esquemas de abajo: a la izquierda, variación de la tensión aplicada en función del tiempo; y a la derecha, curva del porcentaje de transmisión en función del tiempo.

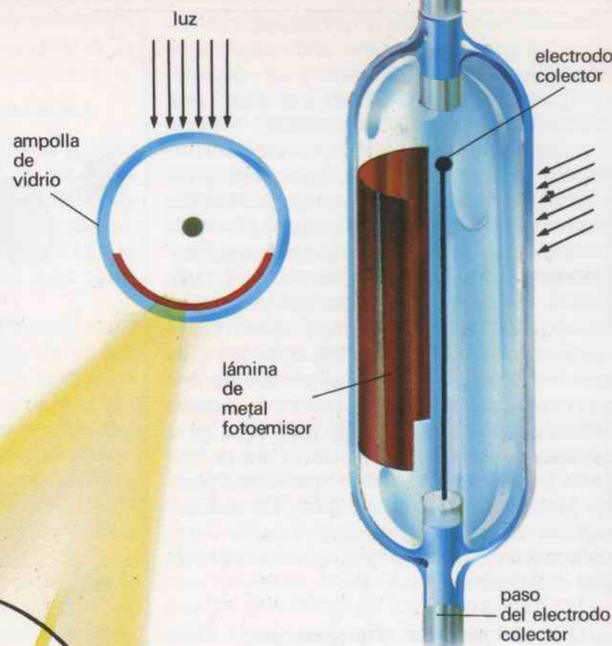
Célula fotoeléctrica

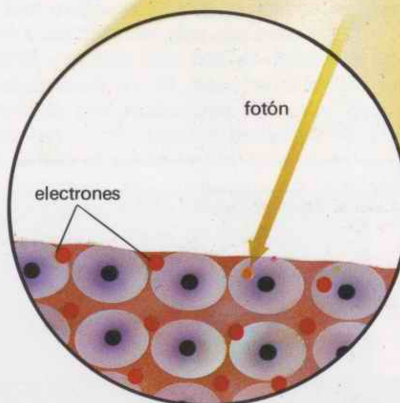
En el futuro la energía eléctrica para usos terrestres se podrá obtener de grandes paneles de dispositivos electrónicos, llamados *células solares*, montados sobre satélites. Estas células solares transformarán la energía de los rayos del Sol en energía eléctrica que después se convertirá en ondas electromagnéticas que se enviarán a la superficie de la Tierra. Actualmente las células solares, que son un tipo de células fotoeléctricas, constituyen la principal fuente de energía de los satélites y naves espaciales sin tripulación, y se utilizan cada vez más en la Tierra. Sin embargo, las fotocélulas ya se conocían ampliamente antes de la era espacial y se empleaban para otros usos menos sofisticados.

Las alarmas antirrobo, los medidores de intensidad luminosa, los controles para cadenas de montaje y las bandas sonoras de las películas se basan en las células fotoeléctricas desde hace más de medio siglo.

Las células fotoeléctricas aprovechan las propiedades de algunos materiales que experimentan cambios cuando son iluminados. Estos cambios se utilizan de forma diferente por los tres distintos tipos de célula fotoeléctrica: la válvula fotoeléctrica, la fotocélula y la célula solar.

A la derecha, una célula fotoeléctrica de vacío. Está formada por una pequeña ampolla de vidrio y en su interior (a la izquierda) una fina lámina de metal. La luz, que en este caso tiene que llegar desde la derecha, alcanza la lámina de metal y hace que salten los electrones, que son atraídos por el hilo situado en el centro de la célula. De esta forma la célula permite el paso de una corriente proporcional a la luz que recibe.





A la izquierda, el principio de funcionamiento de la célula de vacío. Arriba, la sección circular de la célula, con la lámina de metal. Debajo se ve lo mismo con un aumento ideal, suficiente para poder ver los átomos que forman la superficie. Están ordenados, ya que en un metal los átomos están situados según una red cristalina simple. La capa superficial está formada por núcleos de átomos (positivos) y electrones (negativos) en igual número. Un electrón que se encuentra en esta capa estará atraído hacia el interior por las cargas eléctricas, pero si lo golpea un fotón, sale libre de la red que forma el metal.

La válvula fotoeléctrica y el efecto fotoeléctrico Las válvulas fotoeléctricas (o fototubos) aprovechan un fenómeno llamado *efecto fotoeléctrico*, o sea, el hecho de que algunos elementos emitan minúsculas partículas con carga eléctrica, llamadas *electrones*, cuando la luz incide sobre ellos. Este fenómeno puso a prueba el ingenio de muchos físicos y fue por primera vez aclarado completamente por Albert Einstein en 1905, descubrimiento por el que recibió el Premio Nobel en 1921.

Las válvulas fotoeléctricas son tubos en los que se ha hecho el vacío y que contienen una placa metálica o *ánodo* y una barrita también metálica o *cátodo*.

El cátodo está recubierto por una sustancia como, por ejemplo, el cesio, que emite electrones cuando recibe luz. El polo negativo de un generador de corriente, una batería por ejemplo, está unido al cátodo, y el polo positivo al ánodo, de forma que cuando los electrones con su carga negativa son expulsados del cátodo, son atraídos hacia el ánodo, que tiene carga positiva.

Puesto que la corriente eléctrica es un flujo de electrones, una válvula fotoeléctrica es simplemente un medio para relacionar la presencia de luz con el flujo de corriente.

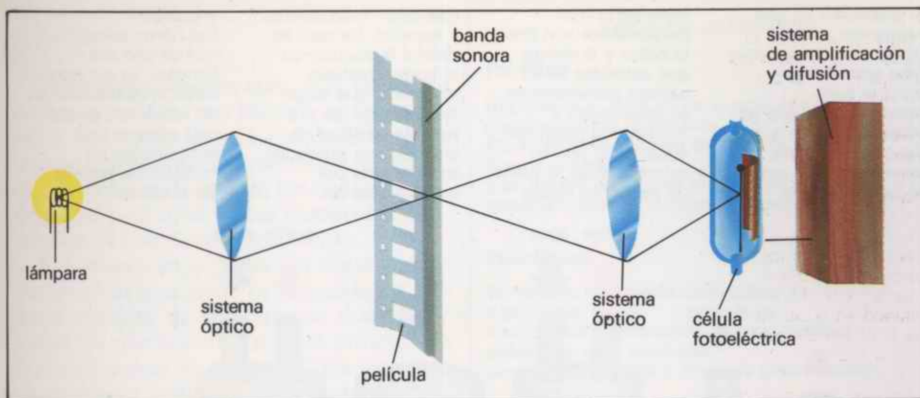
Una válvula fotoeléctrica no produce una diferencia de potencial como las baterías, sino que se limita a regular el flujo de corriente. En presencia de luz funciona como un interruptor en la posición de dejar pasar la corriente.

Las válvulas fotoeléctricas se han utilizado mucho en sistemas de alarma y en sistemas de apertura automática de puertas, aunque se están quedando rápidamente obsoletas. En estos sistemas el rayo de luz alcanza la válvula fotoeléctrica, haciendo que circule una pequeña cantidad de corriente. La interrupción de este rayo de luz, ocasionada, por ejemplo, por un cuerpo, corta la corriente, poniendo en marcha la alarma o el sistema de apertura de la puerta.

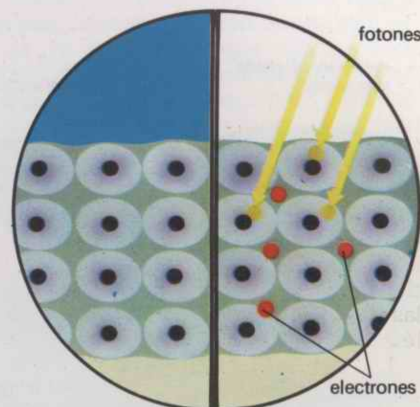
Fotocélulas Las fotocélulas se parecen a las válvulas fotoeléctricas en el hecho de que no producen una diferencia de potencial, sino que se limitan a controlar el paso de una corriente. Las fotocélulas están construidas con materiales diferentes, llamados *semiconductores* —silicio, germanio, sulfuro de cadmio (CdS)—, que poseen determinadas propiedades, como la de no ser buenos conductores ni buenos aislantes. Se puede conseguir que algunos semiconductores tengan propiedades fotoeléctricas: cuanta más luz reciben, mejores conductores de la electricidad son Las fotocélulas son como los grifos de agua, que pueden aumentar y disminuir el caudal de líquido. Los componentes que utilizan tales propiedades son los fotorresistores CdS, los fotodiodos de silicio y los fototransistores. Se utilizan en determinadas aplicaciones, como alarmas, apertura de puertas, lectura óptica de tarjetas y cintas perforadas de ordenador, taquímetros digitales, contadores para cadenas de montaje y lectores ópticos de códigos en grandes almacenes y supermercados.

Otra aplicación interesante ha sido la sustitución de las válvulas fotoeléctricas en la reproducción de bandas sonoras de películas cinematográficas. Cuando se proyecta una película, se enfoca un fino rayo de luz sobre la estrecha banda de aproximadamente 2,5 mm de ancho situada entre los agujeros de guía y la zona impresionada. Esta banda tiene una secuencia de claroscuros que modifican la cantidad de luz que atraviesa la película. La luz llega a una fotocélula por la otra parte, de forma que hace aumentar o disminuir la corriente eléctrica. Otros aparatos transforman esta secuencia de impulsos eléctricos en sonido.

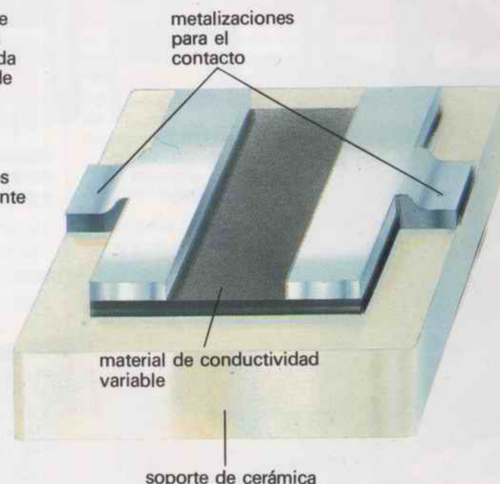
Células solares Las células solares se diferencian tanto de las válvulas fotoeléctricas como de las fotocélulas porque generan una diferencia de potencial. En cierta manera se pueden considerar transformadores de energía, ya que convierten la energía luminosa en otro tipo de energía, la energía eléctrica. Las células solares aprovechan la capacidad de los semiconductores de crear una barrera de potencial que los electrones pueden atravesar en un sentido, pero no en el otro. Cuando

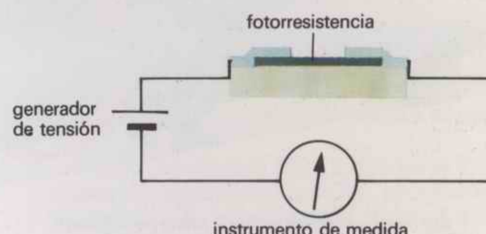


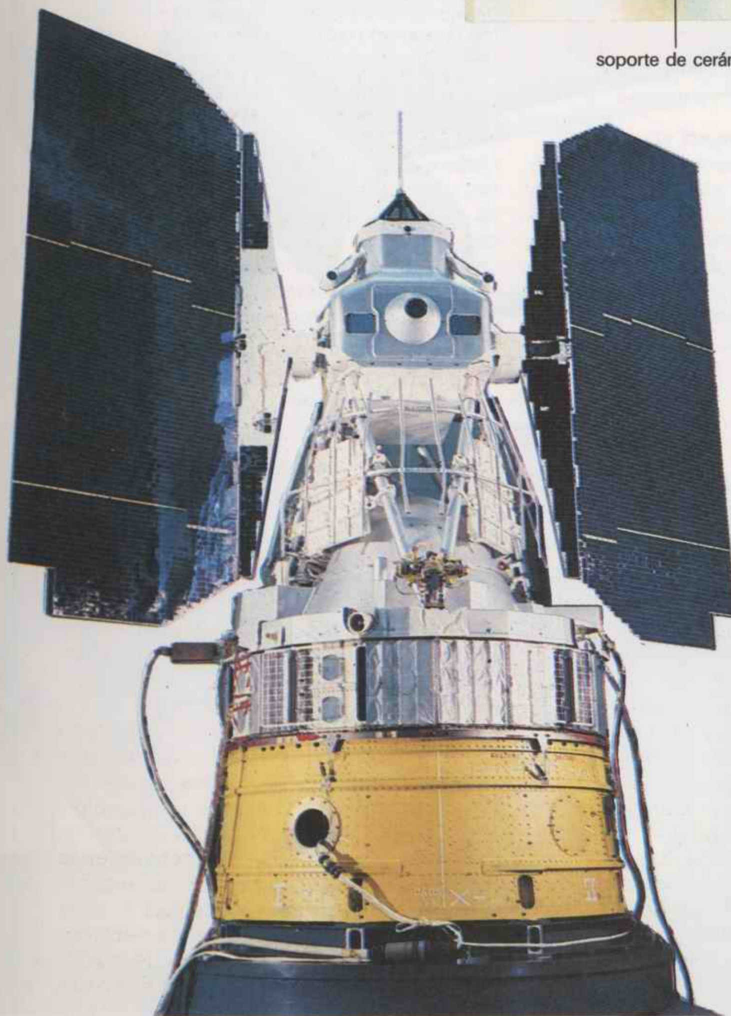
A la izquierda, el esquema de funcionamiento de la fotocélula utilizada en la lectura de bandas sonoras de películas de cine. Una lámpara y un sistema óptico iluminan la banda sonora de la película, que con sus claroscuros de longitud variable hace que se produzca una variación de intensidad en el haz de luz. La fotocélula transforma esta luz variable en corriente, que a su vez excita a un amplificador.



Una fotorresistencia (a la derecha) es un dispositivo que varía el valor de su resistencia eléctrica con la luz que recibe. Es uno de los componentes fotoeléctricos más simples. Está formado por una capa de material semiconductor, que en la oscuridad no conduce, depositada sobre un soporte de material aislante, normalmente cerámica. En sus extremos, dos contactos metálicos conducen la corriente eléctrica.







A la derecha, circuito de utilización de una fotorresistencia. Una fuente de tensión está conectada a sus terminales; en la oscuridad, no circula corriente, e iluminada, circula una corriente proporcional a la cantidad de luz. Esta proporcionalidad es la mejor característica de las fotorresistencias, que, por otro lado, son relativamente lentas. El instrumento que mide la intensidad de corriente se puede calibrar en unidades de iluminación. Más arriba, el principio de funcionamiento de las fotorresistencias: los átomos de un material tienen bien sujetos los electrones (en la oscuridad), por lo que no hay cargas libres y el material no conduce. Los fotones de la luz liberan algunos electrones, el material se hace conductor y la corriente puede pasar por él. A la izquierda, células solares (fotovoltaicas) usadas en los satélites para proporcionar energía eléctrica.

la luz llega a la célula, libera algunos electrones, que pueden atravesar la barrera en el sentido permitido. Esto hace que haya un exceso de electrones en una parte de la célula y una escasez en la otra parte, justo lo que sucede en una batería que aprovecha la energía de las reacciones químicas en vez de la luz. Estas células son las que se utilizan para alimentar los satélites artificiales.

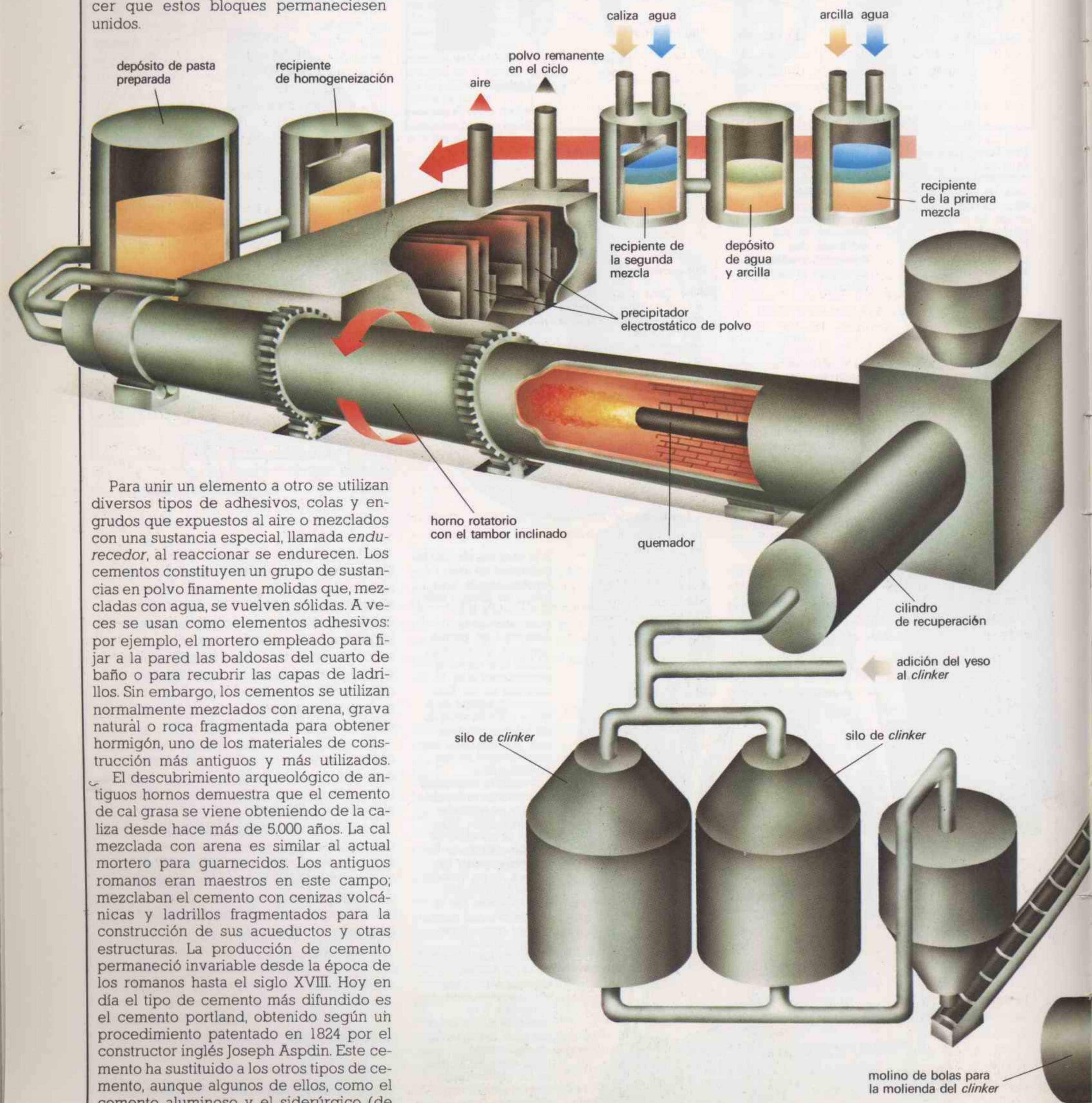
En la Tierra el uso de células solares como fuentes permanentes de energía es menos frecuente debido a la gran variabilidad e imprevisibilidad de la cantidad de luz solar disponible.

La utilización principal en la Tierra hasta ahora ha sido la recarga de baterías en lugares donde no llega la energía eléctrica, como las usadas para la alimentación de señales en ferrocarriles rurales, líneas telefónicas o radiotransmisores de emergencia.

Véase **Alarma y sistemas de seguridad; Diodo; Semiconductor**

Cemento

Los romanos construyeron numerosas calzadas, acueductos y puentes, algunos todavía en uso. Ello se debe no sólo a sus excelentes proyectos y a la esmerada preparación de las piedras y de los ladrillos con los que están construidos, sino también al uso de un tipo primitivo de cemento —el *opus caementacium*— para hacer que estos bloques permaneciesen unidos.



Para unir un elemento a otro se utilizan diversos tipos de adhesivos, colas y engrudos que expuestos al aire o mezclados con una sustancia especial, llamada *endurecedor*, al reaccionar se endurecen. Los cementos constituyen un grupo de sustancias en polvo finamente molidas que, mezcladas con agua, se vuelven sólidas. A veces se usan como elementos adhesivos: por ejemplo, el mortero empleado para fijar a la pared las baldosas del cuarto de baño o para recubrir las capas de ladrillos. Sin embargo, los cementos se utilizan normalmente mezclados con arena, grava natural o roca fragmentada para obtener hormigón, uno de los materiales de construcción más antiguos y más utilizados.

El descubrimiento arqueológico de antiguos hornos demuestra que el cemento de cal grasa se viene obteniendo de la caliza desde hace más de 5.000 años. La cal mezclada con arena es similar al actual mortero para guarnecidos. Los antiguos romanos eran maestros en este campo; mezclaban el cemento con cenizas volcánicas y ladrillos fragmentados para la construcción de sus acueductos y otras estructuras. La producción de cemento permaneció invariable desde la época de los romanos hasta el siglo XVIII. Hoy en día el tipo de cemento más difundido es el cemento portland, obtenido según un procedimiento patentado en 1824 por el constructor inglés Joseph Aspdin. Este cemento ha sustituido a los otros tipos de cemento, aunque algunos de ellos, como el cemento aluminoso y el siderúrgico (de

escoria de horno alto), se utilizan en casos específicos.

Producción del cemento El polvo de cemento no tiene una fórmula química general. Este material está compuesto de diversos ingredientes clasificados de manera diferente, cada uno de los cuales cubre un papel particular en las numerosas cualidades del cemento endurecido.

El proceso de producción del cemento comprende tres fases principales. La primera consiste en seleccionar, dosificar y moler las dos materias primas principales que componen el cemento. Una de estas es cualquier sustancia que contenga carbonato cálcico, como la caliza, el yeso o la creta (caliza de origen orgánico). La otra, por el contrario, es cualquier material que contenga silicatos de aluminio hidratados, como la arcilla, los esquistos o la pizarra. La exacta dosificación, como también las inevitables impurezas, deben ser cuidadosamente controladas para obtener los resultados deseados. La presencia de hierro, por ejemplo, produce cemento gris, de manera que es necesario eliminarlo para producir cemento blanco. Estas materias primas se reducen a un polvo uniforme para las fases posteriores.

En la segunda fase, las materias primas reducidas a polvo se someten a cocción en un horno a temperaturas que oscilan entre los 1.300 y los 1.500 °C. Durante este proceso, al que se le da el nombre de *sintetización*, las dos sustancias se mezclan químicamente sin fundirse y se producen pequeños nódulos del tamaño de nueces llamados *clinker*. Durante la tercera y última fase, el *clinker* se enfría y se mezcla con una pequeña cantidad de yeso que sirve para regular la rapidez con que se endurece la mezcla. El *clinker* y el yeso son después finamente molidos. La mezcla obtenida es el cemento portland, el más usual de los cementos actuales.

TIPOS DE CEMENTOS

Portland

Representa el 70-80% de la producción de conglomerantes hidráulicos.
Producto de la cocción de la caliza y la arcilla.
Fragua lentamente
y se emplea en su gran mayoría en construcciones de hormigón armado.

Puzolánico

Se obtiene mezclando *clinker* puro de cemento y puzolana. Es un conglomerante hidráulico de características excelentes, muy adecuado para presas, muelles y obras de gran volumen.

Siderúrgico

Se obtiene mezclando *clinker* puro de cemento con escorias básicas de horno alto obtenidas en la producción del arrabio. Adecuado para pavimentación de carreteras y para obras hidráulicas en aguas no agresivas.

Aluminoso

Se obtiene fundiendo una mezcla de alúmina, sílice y óxido de carbonato cálcico. Adecuado para trabajos urgentes como reparaciones en carreteras, ferrocarriles y en obras hidráulicas por su rápido endurecimiento.

Férricos

Son cementos portland obtenidos con materias primas pobres en alúmina.
Se usan para la construcción de depósitos de hormigón para soluciones salinas.
El precio elevado limita su aplicación.

Proceso de fraguado Cuando se añade de agua a esa mezcla —la dosis justa es aproximadamente la mitad del peso del cemento—, tiene lugar una reacción química. El endurecimiento de la mezcla está provocado por algunos hechos particulares que suceden en las pequeñísimas partículas de cemento durante el proceso químico del fraguado. Este proceso tiene lugar en dos fases.

La primera fase empieza cuando se mezclan el polvo del cemento y el agua. Aunque el polvo de cemento sea muy fino, observándolo con el microscopio se puede ver que está compuesto de pequeñísimas partículas que se asemejan a granos de arena en miniatura.

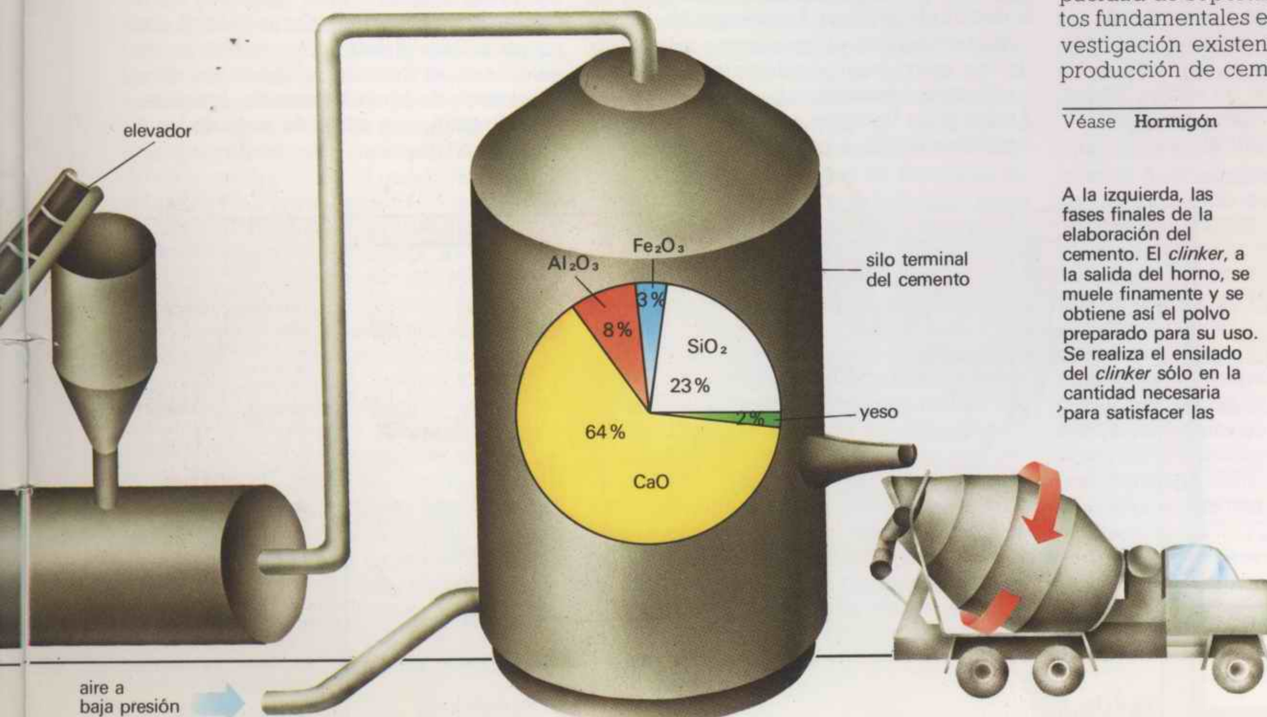
Cuando se añade el agua, estas pequeñas partículas se recubren de una sutil película de gel. Ese gel que cubre a cada partícula se hace cada vez más denso hasta que las capas que envuelven a las partículas empiezan a acercarse y terminan uniéndose entre sí. Al cabo de dos horas la mezcla ha formado un lodo denso parecido al fango, llamado *pasta de cemento*.

El segundo estadio comienza de 3 a 5 horas después de la formación de esta mezcla. La película en torno a la partícula empieza a formar pequeñas puntas que se extienden hacia el exterior de ésta. Cada partícula, observada al microscopio electrónico, se asemeja en ese momento a un puerco espín en miniatura cuyas puntas se vuelven cada vez más numerosas y se alargan, empezando a entrelazarse las unas con las otras.

Al final se forma una retícula densa y entrelazada de esos tubos, que hace a la mezcla todavía más rígida. Después de unos días la mezcla se vuelve dura como la roca.

Sólo en los últimos años, y gracias al microscopio electrónico y a los progresos técnicos en la investigación química, ha sido posible describir de un modo tan exacto este proceso químico. Hecha esta consecución, puede ser que los científicos estén capacitados para descubrir cómo modificar ese proceso con el fin de producir cemento de más calidad, igual que la comprensión de la estructura de los metales ha ayudado a desarrollar mejores aceros. Aportar mejoras a la resistencia, a la velocidad de endurecimiento y a la capacidad de soportar el deterioro son puntos fundamentales en los programas de investigación existentes en la industria de producción de cemento.

Véase **Hormigón**



A la izquierda, las fases finales de la elaboración del cemento. El *clinker*, a la salida del horno, se muele finamente y se obtiene así el polvo preparado para su uso. Se realiza el ensilado del *clinker* sólo en la cantidad necesaria para satisfacer las necesidades de la demanda. Para conservar grandes cantidades durante largas temporadas es mejor fijar el *clinker*. Al polvo de cemento molido pueden ser añadidos aditivos como el yeso, que funciona como retardante del fraguado. Al final el cemento se almacena en silos, de los cuales puede retirarse soplándolo. En obra a menudo la conservación suele ser también en silos, y llega a la hormigonera mediante transporte por aire.

Cenozoica, era

La era Cenozoica, que empezó hace casi 67 millones de años, es la era en que actualmente vivimos. Se divide en dos períodos, el Terciario, subdividido en: el Paleógeno y el Negógeno; y el Cuaternario, subdividido en Pleistoceno y Holoceno. El Paleógeno incluye tres series o épocas, el Paleoceno, el Eoceno y el Oligoceno, mientras que el Neógeno comprende el Mioceno y el Plioceno. La era Cenozoica es conocida como "la era de los mamíferos", puesto que en ella alcanzan su máximo desarrollo. En la era precedente, la Mesozoica, llamada también "era de los reptiles", los mamíferos eran pequeños, escasos y apenas tenían importancia comparados con los dinosaurios. La extinción de los reptiles, a finales del Mesozoico, dejó el camino libre a la rápida expansión de los mamíferos.

El nombre Cenozoico viene del griego *kainos* que significa "reciente", más *zoos*, que significa "vida animal". Durante esta era la vida experimentó una rápida evolución, con la aparición de nuevas formas. Pronto entraron en escena los primeros primates, entre los que se encuentran los primitivos antepasados del hombre, de los chimpancés y de los gorilas actuales.

Al principio del Paleógeno, Norteamérica emergía de un período de inundación marina y Europa iba adquiriendo los actuales perfiles continentales generales. Un puente de tierra unía Alaska y Siberia, y durante un cierto período América del Norte y América del Sur estuvieron unidas. Gran parte del actual Oriente Medio estaba sumergida y el Mediterráneo modificaba continuamente su forma y dimensiones. En Africa se desarrollaron los sistemas de valles tectónicos (fosas profundas) que caracterizan hoy su estructura geológica, y Australia y Madagascar se individualizaron como islas. Las erupciones volcánicas eran frecuentes y se alzaron grandes sistemas montañosos. Surgieron los Alpes, Los Pirineos, el Himalaya y los Carpatos, mientras que las cadenas montañosas preexistentes se hicieron más altas. El mar invadía las zonas deprimidas de la corteza terrestre y acumulaba en ellas grandes depósitos de arcilla, limo y arena; en algunos de esos depósitos se formó petróleo y gas natural.

A causa de la separación entre las dos Américas, la corriente cálida ecuatorial discurría directamente desde el Atlántico hasta el Pacífico. En el Hemisferio oriental había, desde Gibraltar hasta el Océano Indico, otro brazo de mar cálido, conocido como el mar de Tethis, que separaba la India del Tibet, Arabia de Asia Occidental y el norte de Africa de Europa.

Mientras, los continentes meridionales se desplazaban hacia el Norte a una velocidad de 5 a 10 cm al año. Esos continentes, debido a su desplazamiento, llegaron inevitablemente a colisionar con Europa y Asia. Se cerró, por tanto, el antiguo mar de Tethis, y las corrientes oceánicas ecuatoriales ya no pudieron templar las costas europeas. Los océanos se aislaron unos de otros y ello modificó la circulación global, disminuyendo los intercambios de calor entre las distintas zonas oceánicas. Debido a la precisa correlación, verificable también hoy en día, entre la circulación oceánica y los elementos metereológicos y climáticos, esta modificación tuvo consecuencias directas sobre el clima global, acentuadas, posiblemente, por situaciones astronómicas particulares.

Al principio del Cenozoico, el clima era universalmente templado, tendiendo a cálido, pero hace unos 40 millones de años empezaron a formarse grandes glaciares en la Antártida y hace unos 14 millones de años ya había casquetes de hielo cubriéndo Groenlandia y parte de Alaska: eran los primeros casquetes glaciales permanentes, que preparaban el comienzo de un nuevo período geológico, el Cuaternario, el período en el que nos encontramos actualmente.

En el transcurso del período Terciario, las colisiones entre los continentes produjeron un violento plegamiento a lo largo de las costas, fuertes terremotos, y una intensa actividad volcánica. Esas colisiones originaron las grandes cadenas montañosas que se extienden desde los Alpes hasta el Himalaya. Contemporáneamente, la deriva de la placa Americana hacia Occidente provocó plegamientos a lo largo de los márgenes occidentales de dicho continente, formándose la cordillera de los Andes y las Rocosas. La formación de las montañas tiende a crear zonas de pluviosidad mínima, de modo que las praderas y llanuras relativamente secas se hicieron muy abundantes.



A la derecha, en marrón oscuro, la forma y la posición de los continentes actuales, en ocre la que tenían al principio de la era Cenozoica. Australia, a partir de ese momento, ha permanecido separada de los demás continentes, de forma que la evolución de sus mamíferos se ha desarrollado de manera totalmente independiente. La distribución de los animales se refiere a su situación actual y a los lugares en que se han hallado los fósiles más antiguos.

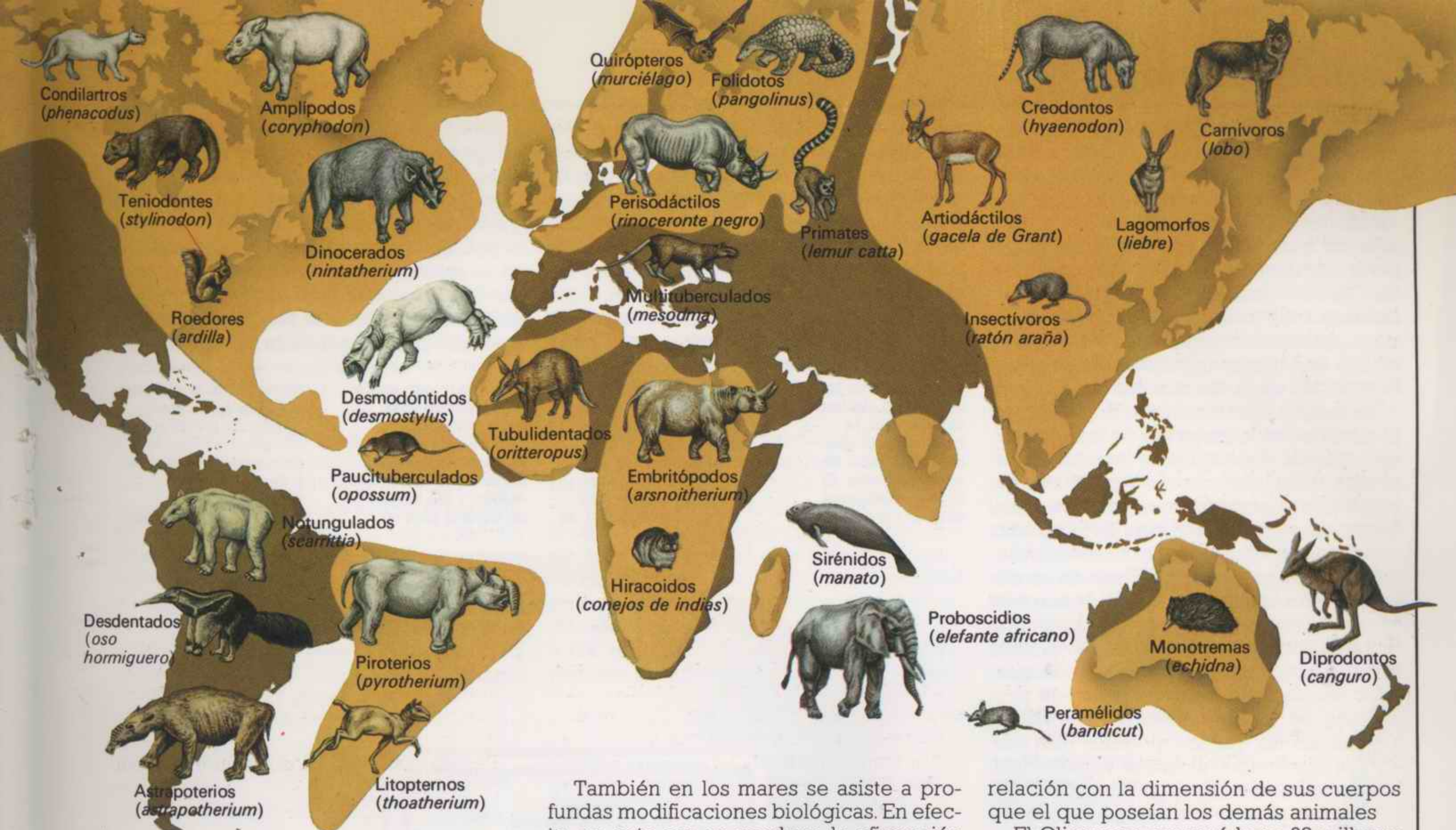
El Paleoceno se inició hace casi 67 millones de años y duró 11 millones de años. Aunque tengamos pocos testigos fósiles de esa época, es evidente que los mamíferos placentados empezaron a difundirse rápidamente, superando a los reptiles, y convirtiéndose en las especies terrestres predominantes. Todos los dinosaurios y los grandes reptiles prácticamente se habían extinguido al final del período precedente, por razones que aún no se han aclarado completamente.

Pero la historia de los mamíferos había comenzado hacía ya 150 millones de años, en el Triásico, cuando un grupo de reptiles adquirió la capacidad de producir calor interno en cantidades tales que le permitían mantener su temperatura interior constante cualesquiera que fuesen las condiciones ambientales. Ese mecanismo —denominado *homotermia*— permite a los animales que lo poseen sobrevivir incluso en condiciones climáticas adversas. A partir de algunos de aquellos reptiles, desaparecidos a finales del Triásico, evolucionaron los mamíferos. En principio se trataba de pequeños animales omnívoros, que vivían a la sombra del dominio de los grandes reptiles. Los mamíferos primitivos eran todavía aplacentados: es decir, se reproducían poniendo un huevo, que incubaban en un repliegue a modo de "bolsillo" en el vientre, como hace hoy día el canguro, o en un nido, como hace el ornitorrinco. Pero el éxito posterior de los mamíferos en el Cenozoico hunde sus raíces en el período inmediatamente precedente, el Cretácico, la etapa de auge de los dinosaurios, momento éste en el que preci-

Años 10^6	Eras	Períodos	
	Cenozoica	Cuaternario	
1,8		Terciario	Neógeno
			Paleógeno
67	Mesozoica	Cretácico	
141		Jurásico	
195		Triásico	
230	Paleozoica	Pérmico	
280		Carbonífero	
347		Devónico	
396		Silúrico	
435		Ordoviciense	
500		Cámbrico	
570	Precámbrica	Proterozoico	
2.700		Arcaico	
4.000			



La era Cenozoica cubre unos 67 millones de años y tiene unos límites precisos que dan un significado a esta datación. Es la era en la que los mamíferos alcanzan su máximo nivel de difusión, y durante el Terciario los continentes adquieren su actual configuración. El mapa muestra cómo el océano Atlántico aún es estrecho (se ensancha a un ritmo de pocos centímetros al año). La India y Arabia aún están separadas de Asia; en color oscuro, las zonas afectadas por la orogénesis terciaria.



samente hacen su aparición dos categorías de mamíferos: los marsupiales y los placentados.

Al desaparecer los reptiles, los mamíferos pueblan rápidamente los continentes y se extienden por el agua y el aire. Es más, llegará el momento en que se entablará una competencia interna en el seno de esta clase de animales, entre los marsupiales y los placentados. Una competición que verá prevalecer a los segundos sobre los primeros. Pero los marsupiales no se extinguieron totalmente, sino que han sobrevivido en aquellos lugares en los que la cambiante geografía de la era los ha aislado de los centros de desarrollo de los placentados: en Australia han sobrevivido porque quedó aislada en el óceano; en América del Sur, separada de América del Norte hasta hace pocos millones de años, se había desarrollado una fauna marsupial muy rica, que desapareció en el momento en el que la formación del istmo de Panamá posibilitó la entrada de los placentados en el subcontinente.

El Cenozoico supone, por lo tanto, la afirmación progresiva de los mamíferos sobre los continentes. Pero en un principio éstos no estaban capacitados para utilizar todos los nichos ecológicos que los dinosaurios habían dejado libres. Los primeros carnívoros, por ejemplo, aparecieron hace unos sesenta millones de años, pero en su mayoría se trata de formas no muy grandes o efímeras. Los mamíferos carnívoros experimentaron una difusión amplia y adquirieron una dentadura apta para la caza hace sólo unos treinta millones de años. Mientras esto ocurría, ese nicho ecológico lo ocuparon gigantescos pájaros carnívoros como el *Diatrifma*.

También en los mares se asiste a profundas modificaciones biológicas. En efecto, en esta era se produce la afirmación progresiva de los peces con esqueleto óseo y, sobre todo, de los de esqueleto cartilaginoso, y la difusión de los grandes mamíferos marinos. Pero mientras se verifica todo ésto, una antigua familia de habitantes del mar se encamina hacia un período de desarrollo excepcional, probablemente en relación con la desaparición de los reptiles marinos, que les habían dejado un espacio libre se trata de los tiburones, que, aunque habían aparecido en el Jurásico, alcanzan el período de máxima difusión entre hace 23 y 6 millones de años, en el Mioceno. Se han encontrado dientes de esos tiburones de hasta 15 centímetros de largo; sus propietarios debían ser unos verdaderos monstruos marinos, de más de 25 metros de longitud.

Durante el Eoceno, que duró 18 millones de años, los océanos inundaron las costas continentales, dejando amplias zonas pantanosas rellenas de sedimentos que darían origen a yacimientos de carbón. El petróleo y el gas se formaron en puntos particularmente favorables entre grandes depósitos de arcilla, arena y caliza. Aves, ballenas, anfibios, peces y pequeños reptiles se desarrollaron en esas condiciones de humedad, mientras que los roedores, camellos, rinocerontes y pequeños caballos primitivos, no más grandes que una oveja, vagaban por las llanuras más secas de Europa y América del Norte. Esos herbívoros se alimentaban con frutos y cereales. En esta época se desarrollaron los primates, que se diferenciaban de los demás mamíferos por tener el pulgar oponible, lo que les permitía agarrarse a las ramas; ojos con vista anterior, que les proporcionaba profundidad focal y les permitía una visión estereoscópica del ambiente, y un cerebro más grande en relación con la dimensión de sus cuerpos que el que poseían los demás animales

El Oligoceno empezó hace 38 millones de años. En él aparecieron los primeros gatos, perros y animales con cascos, y se hicieron abundantes las praderas, favoreciendo el desarrollo de los herbívoros.

En el Mioceno la hierba invadió los continentes y se desarrollaron grandes praderas en las zonas interiores, a la vez que espesos bosques cubrían la Tierra en las áreas más húmedas. Las plantas, ya con flores, alimentaban animales tales como monos, osos y elefantes, a medida que éstos iban apareciendo y desarrollandose. Los marsupiales de América del Sur se extinguieron a causa del enfrentamiento con los mamíferos placentados llegados América del Norte, pero en la aislada Australia han sobrevivido hasta hoy (por ejemplo, los canguros). En Africa y en Asia aparecieron los primeros homínidos —el *Ramapithecus*— predecesores del *Homo sapiens*.

Al final del Neógeno, en el Plioceno (que duró solo 3 millones de años), apareció el *Australopithecus*, una nueva especie de homínido que materializó sus dotes naturales construyendo utensilios líticos rudimentarios. Los mamíferos aumentaron sus dimensiones: aparecieron el tigre de dientes de sable, el mamut, el mastodonte, el bradipo gigante. Pero estos mamíferos se extinguieron al final, como resultado del enfrentamiento y del progreso natural de la evolución. Biológicamente las formas de vida que aparecieron en el primer período de la era Cenozica —el Terciario— eran ya bastante similares a las existentes durante el período actual, el Cuaternario.

Véase **Cuaternario; Evolución; Geología**

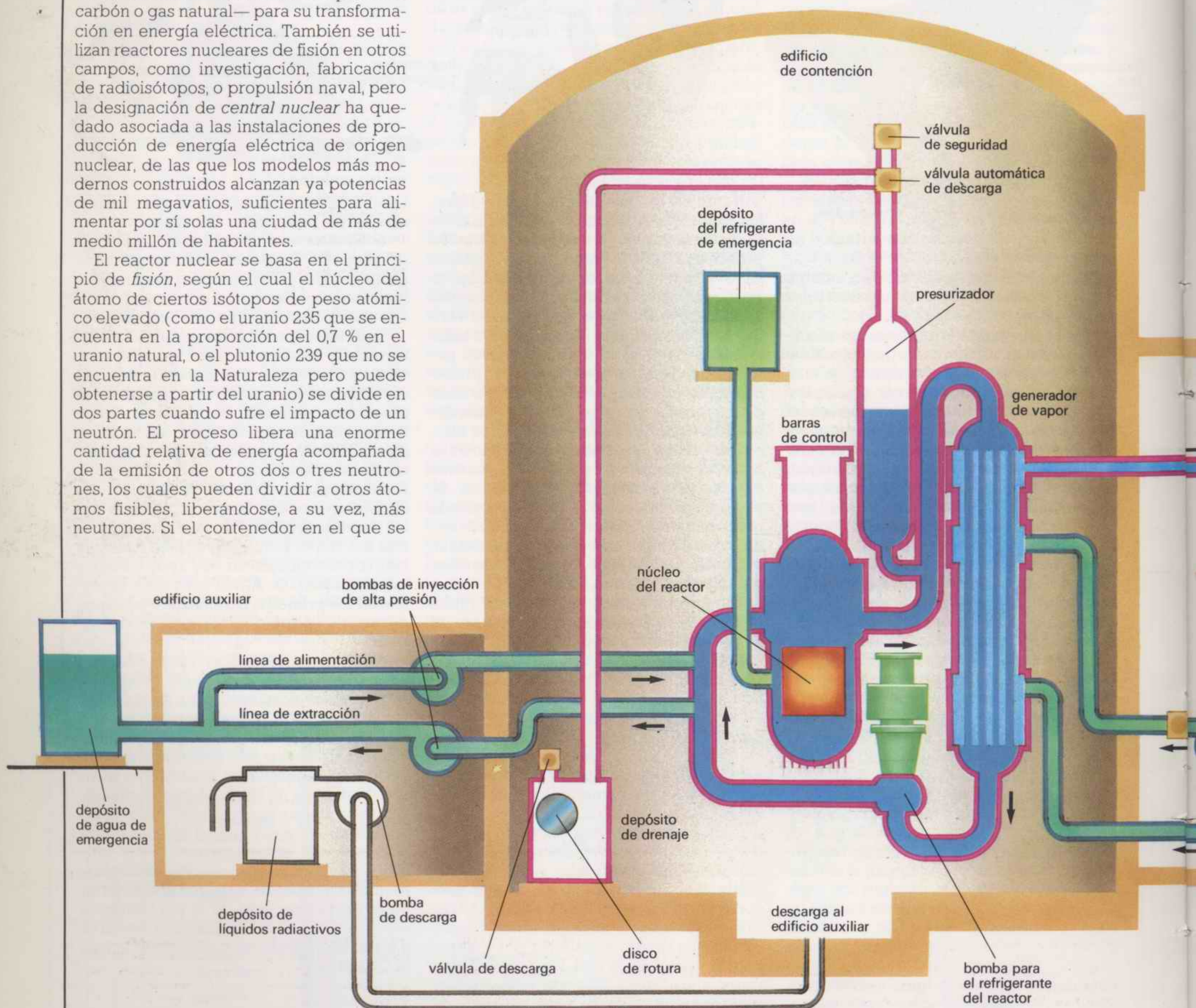
Central nuclear

En la Universidad de Chicago hay una placa que recuerda: "el 2 de diciembre de 1942, el hombre ha obtenido en este lugar la primera reacción en cadena automantenida dando comienzo a la emisión controlada de energía nuclear". La placa conmemora al físico Enrico Fermi que tras muchos años de esfuerzos realizados por muchos de los más grandes físicos, químicos e ingenieros del mundo, realizó el experimento que introdujo a la Humanidad en la era nuclear.

Pasados ya cuarenta años desde entonces, existen en la geografía de nuestro planeta más de doscientas cincuenta instalaciones industriales que aprovechan un reactor nuclear de fisión en cadena como fuente de calor —sustitutiva del petróleo, carbón o gas natural— para su transformación en energía eléctrica. También se utilizan reactores nucleares de fisión en otros campos, como investigación, fabricación de radioisótopos, o propulsión naval, pero la designación de *central nuclear* ha quedado asociada a las instalaciones de producción de energía eléctrica de origen nuclear, de las que los modelos más modernos construidos alcanzan ya potencias de mil megavatios, suficientes para alimentar por sí solas una ciudad de más de medio millón de habitantes.

El reactor nuclear se basa en el principio de *fisión*, según el cual el núcleo del átomo de ciertos isótopos de peso atómico elevado (como el uranio 235 que se encuentra en la proporción del 0,7 % en el uranio natural, o el plutonio 239 que no se encuentra en la Naturaleza pero puede obtenerse a partir del uranio) se divide en dos partes cuando sufre el impacto de un neutrón. El proceso libera una enorme cantidad relativa de energía acompañada de la emisión de otros dos o tres neutrones, los cuales pueden dividir a otros átomos fisibles, liberándose, a su vez, más neutrones. Si el contenedor en el que se verifica esta reacción contiene una cantidad suficiente de uranio o plutonio (masa crítica), la fisión puede continuar según una reacción en cadena, liberándose grandes cantidades de energía total procedente de la conversión de una pequeña proporción de masa nuclear en energía, de acuerdo con la conocida fórmula de Einstein $E=mc^2$ (en donde m representa la masa convertida, E la energía producida y c^2 es el cuadrado de la velocidad de la luz, es decir: 9×10^6 para obtener la energía en julios a partir de la masa en kilogramos).

El aprovechamiento de esta importante energía que, en definitiva, se manifiesta en la producción de calor, se basa en la posibilidad de su dosificación temporal a un ritmo adecuado de producción, por el mantenimiento controlado de la reacción



En el esquema se representa, de forma simplificada, la estructura de una central nuclear de agua a presión. El sistema ambiental exterior para la refrigeración del vapor de turbinas se ha evidenciado por una torre de evaporación, si bien, naturalmente, este sistema puede consistir también en un circuito de agua de río, lago o mar, según el emplazamiento de la instalación. En el esquema puede verse la vasija que contiene el núcleo del reactor y las barras de control para el gobierno de la reacción en cadena, así como el circuito primario de refrigeración, ligado al generador de vapor, y en el que el presurizador tiene como misión mantener →

en cadena dentro de unos límites de temperatura de funcionamiento y del confinamiento adecuado del material nuclear y de los circuitos directamente asociados con él, para evitar el escape de la radiactividad originada en el proceso. Esto es lo que se realiza en un reactor nuclear.

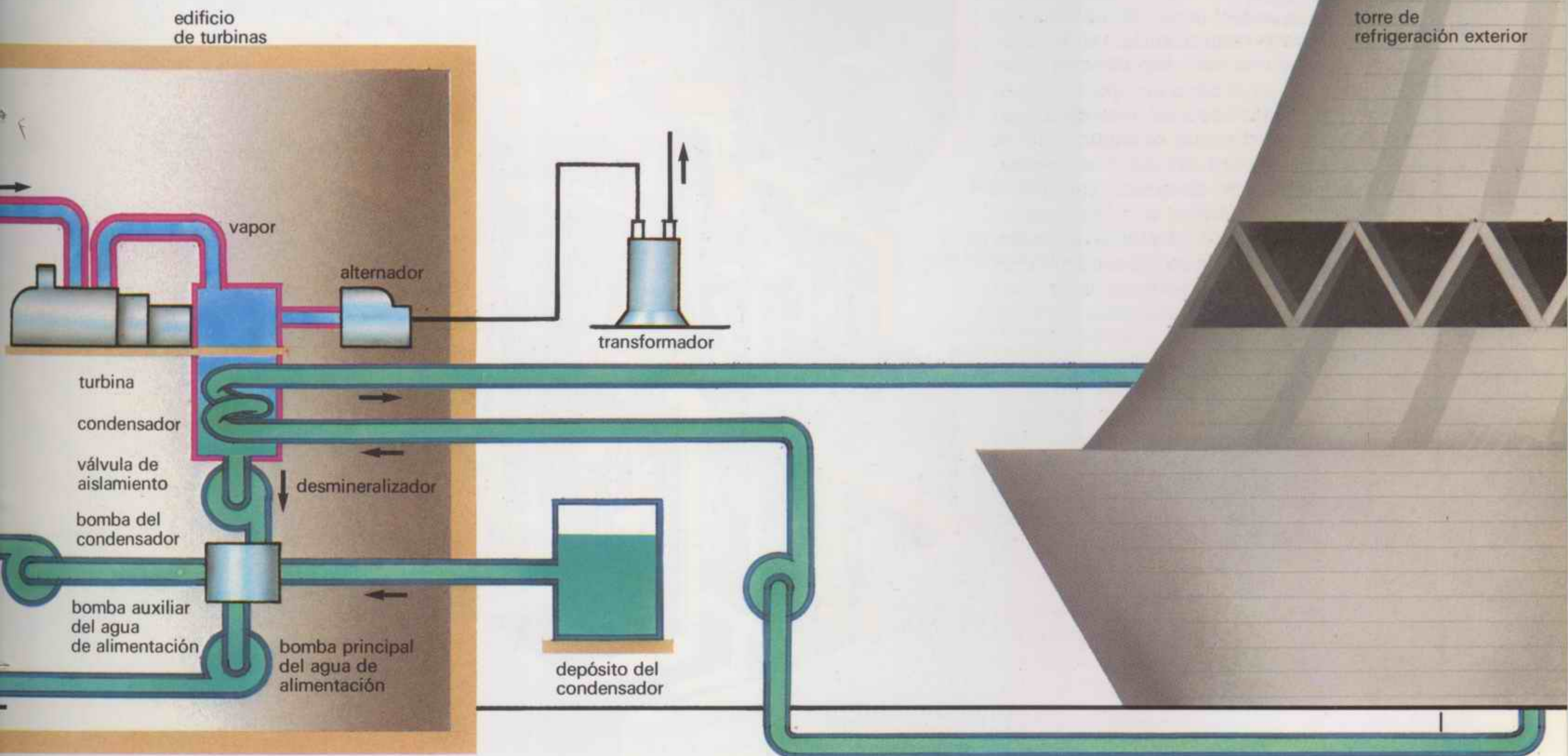
Los elementos más característicos de un *reactor nuclear* son: el material fisible que utiliza (uranio o plutonio), llamado *combustible*, (aunque la fisión es un proceso energético distinto al de la combustión convencional); el *moderador*, o sustancia que se añade en el caso del uranio para mejorar las condiciones del rendimiento de la reacción en cadena, ya que dichas sustancias actúan frenando los neutrones de fisión, de muy alta velocidad, sin absorberlos, con lo que aumenta la probabilidad de que se fisionen nuevos átomos de uranio; y en tercer lugar, el *refrigerante*, o fluido encargado de circular por el núcleo del reactor para recoger el calor producido en él y conducirlo al circuito de aprovechamiento que, en las centrales nucleares, es el generador de vapor para el accionamiento de las turbinas. Todo reactor dispone también de un conjunto de barras que pueden moverse en el interior del núcleo, constituidas por materiales como el cadmio, boro y acero que son muy absorbentes de neutrones. Son las *barras de control* para el gobierno y control de la reacción en cadena, que queda totalmente extinguida si las barras están interpuestas.

El gran interés de esta fuente energética reside en su gran rendimiento específico, por liberarse una energía tan concentrada en la materia como lo es la de la constitución de los núcleos atómicos, así, si se compara su poder calorífico con respecto a otras fuentes energéticas convencionales, se obtienen cifras tan diferentes como las de que 1 kilogramo de uranio fisionado equivale a 400 toneladas de fuel, a 650 toneladas de carbón o a 550 millones de metros cúbicos de gas natural.

Otras ventajas son, además, que el tiempo de reacción es mucho más breve que el de los combustibles convencionales y que no necesita agentes oxidantes para "arder" (fisionarse), con lo que no consume oxígeno (o aire), ni produce dióxido de carbono.

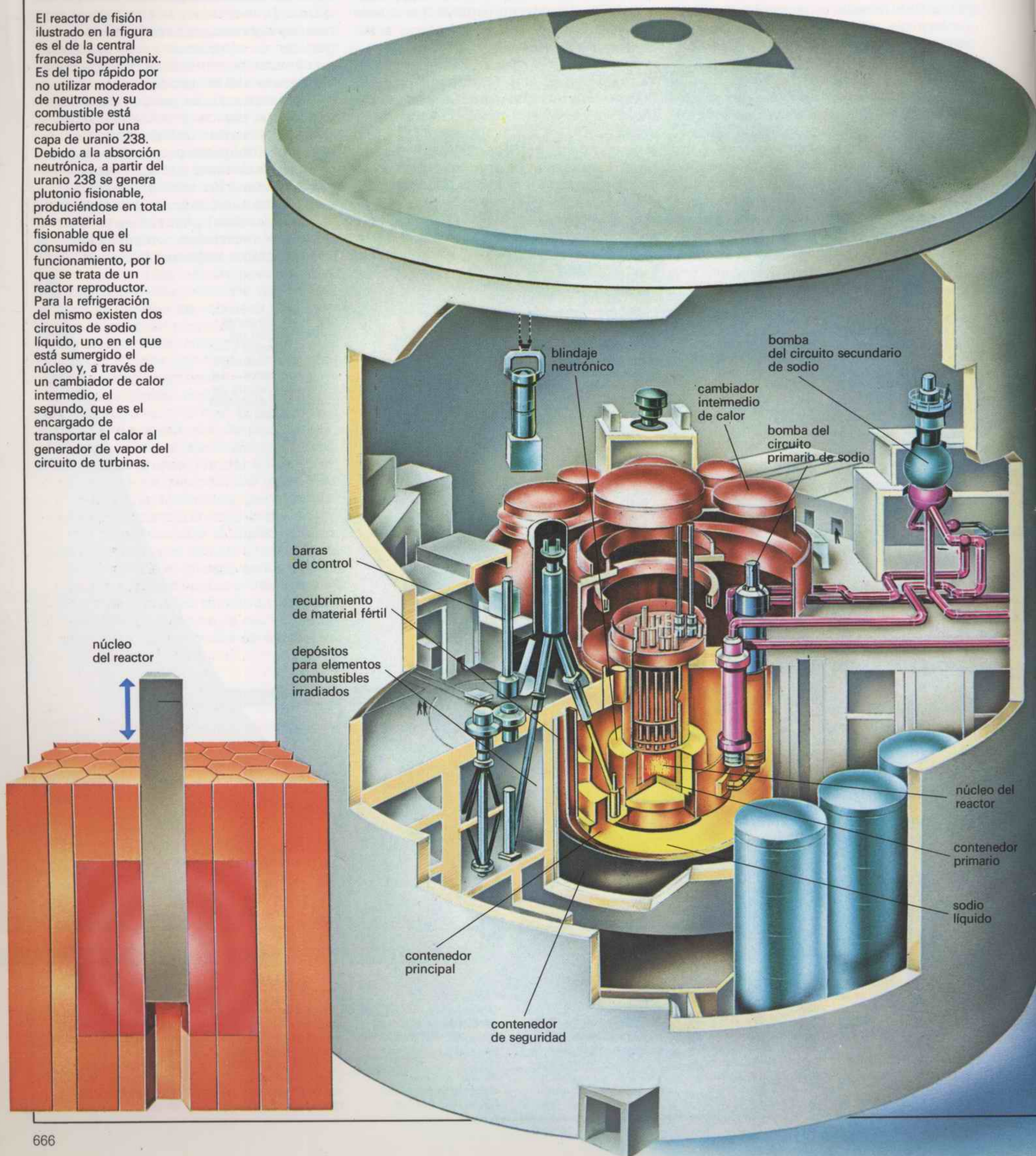
Sin embargo, se producen unos residuos de naturaleza distinta a las escorias de los procesos convencionales, y que consisten en sustancias radiactivas que se generan en el proceso y que es necesario eliminar. Estos residuos proceden principalmente de los productos de la fisión de los átomos y, una parte mucho menos importante, de los circuitos asociados al núcleo del reactor. Debido al rendimiento específico del proceso, ya comentado, las cantidades de residuos radiactivos producidos son también muy pequeñas (dos a tres metros cúbicos al año por reactor de 1.000 megavatios), pero deben ser controlados y almacenados con suficientes garantías durante largo tiempo.

→ regulada la presión del agua del circuito. Está asistido por sistemas de inyección de agua de emergencia para el caso en que faltase agua del refrigerante primario, lo que podría producir el deterioro del combustible. El diseño de seguridad de las centrales nucleares, basado en la interposición de sucesivas barreras para el confinamiento de los productos radiactivos originados, comienza por el envainado hermético de los elementos combustibles, apreciándose en el esquema otras sucesivas barreras, como el propio circuito primario, que es un sistema cerrado, y el recinto de contención, estanco, con paredes de hormigón de un metro de espesor. Las altas exigencias de calidad, control de componentes, redundancia de sistemas, estudios técnicos y ambientales, requisitos de seguridad, etc., encarecen sensiblemente la construcción de una central nuclear, siendo, en cambio, claramente ventajosos los gastos de combustible con respecto a los de las centrales convencionales, una vez en operación. El accidente de una central de este tipo, la unidad número 2 de Three Mile Islands, cerca de Harrisburg (Pensilvania, EEUU), accidente ocurrido en marzo de 1979 y de particular gravedad técnica, por haber llegado a afectar a la refrigeración del núcleo del reactor, con la consiguiente contaminación del circuito primario y —a través de la descarga del presurizador— del interior del recinto de contención, evidenció la importancia de grandes inversiones de este tipo. Sin embargo, las consecuencias de la radiactividad que se emitió al exterior a través del edificio auxiliar fueron de escasa repercusión en la población y el accidente ha permitido contrastar con un caso real, y revisar, en consecuencia, los proyectos de las demás centrales en todos los países.



De la pila de Fermi a las centrales nucleares El laboratorio en que Enrico Fermi y su equipo de científicos llevaron a cabo el primer experimento nuclear se habilitó en una pista de *squash* de la Universidad de Chicago. El experimento se realizó apilando bloques de grafito en los que se intercalaron uranio y óxido de uranio. Sobre toda la superficie de la pila se perforaron orificios para alojar barras de cadmio, metal absorbente de neutrones que serviría para controlar la reacción. Cuando la pila estuvo terminada, Fermi extrajo las barras de cadmio una a una; de esta forma se reducía gradualmente el número de neutrones absorbidos, y a las 3,45 de la tarde del 2 de diciembre de 1942, se logró mantener la reacción en cadena. Antes de que la reacción escapara a su control, Fermi interrumpió la liberación de energía reponiendo las barras de cadmio.

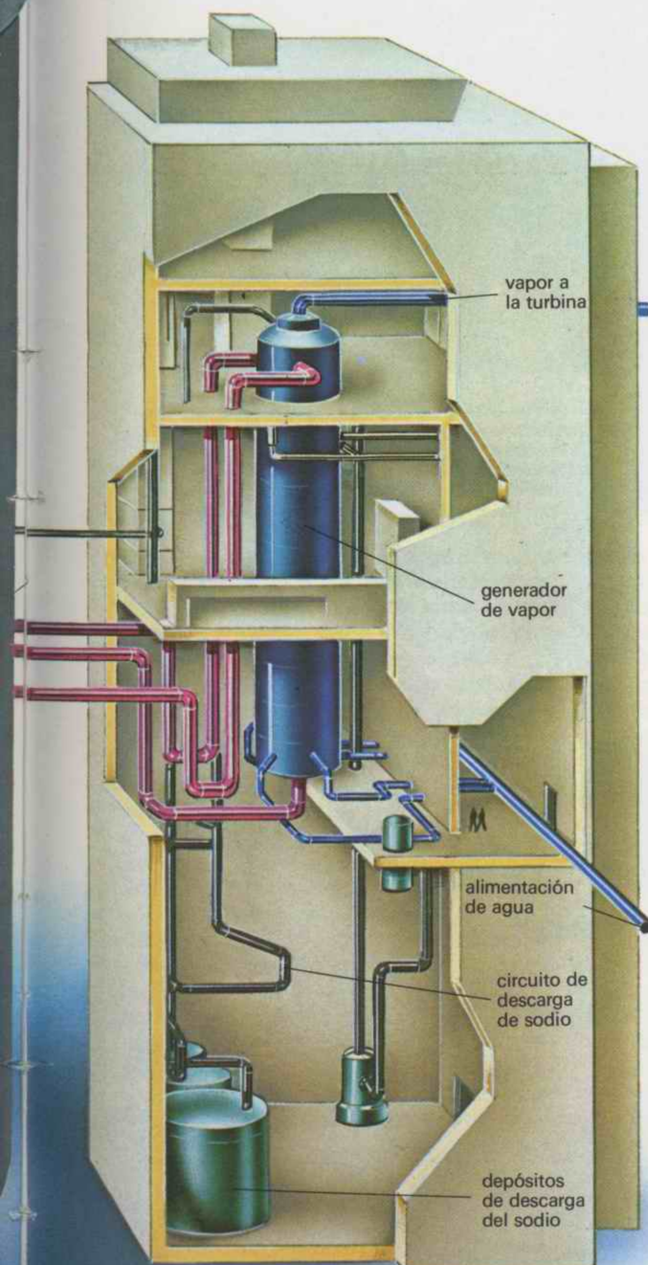
El reactor de fisión ilustrado en la figura es el de la central francesa Superphenix. Es del tipo rápido por no utilizar moderador de neutrones y su combustible está recubierto por una capa de uranio 238. Debido a la absorción neutrónica, a partir del uranio 238 se genera plutonio fisionable, produciéndose en total más material fisionable que el consumido en su funcionamiento, por lo que se trata de un reactor reproductor. Para la refrigeración del mismo existen dos circuitos de sodio líquido, uno en el que está sumergido el núcleo y, a través de un cambiador de calor intermedio, el segundo, que es el encargado de transportar el calor al generador de vapor del circuito de turbinas.



Doce años después se difundía en el mundo la noticia de que en la Unión Soviética se había puesto en funcionamiento una central que producía electricidad con energía nuclear. Se trataba de un reactor ubicado en Obninsk, a 88 kilómetros de Moscú, moderado con grafito, y que suministraba una modesta potencia de cinco megavatios.

Muy poco después, en 1956, entró en funcionamiento en Inglaterra la central de Calder Hall, que ha sido considerada como la primera central nuclear comercializada de gran potencia. Esta central, constituida por cuatro unidades de 60 megavatios, con reactores de uranio natural, grafito como moderador y gas carbónico como refrigerante, sigue funcionando en la actualidad.

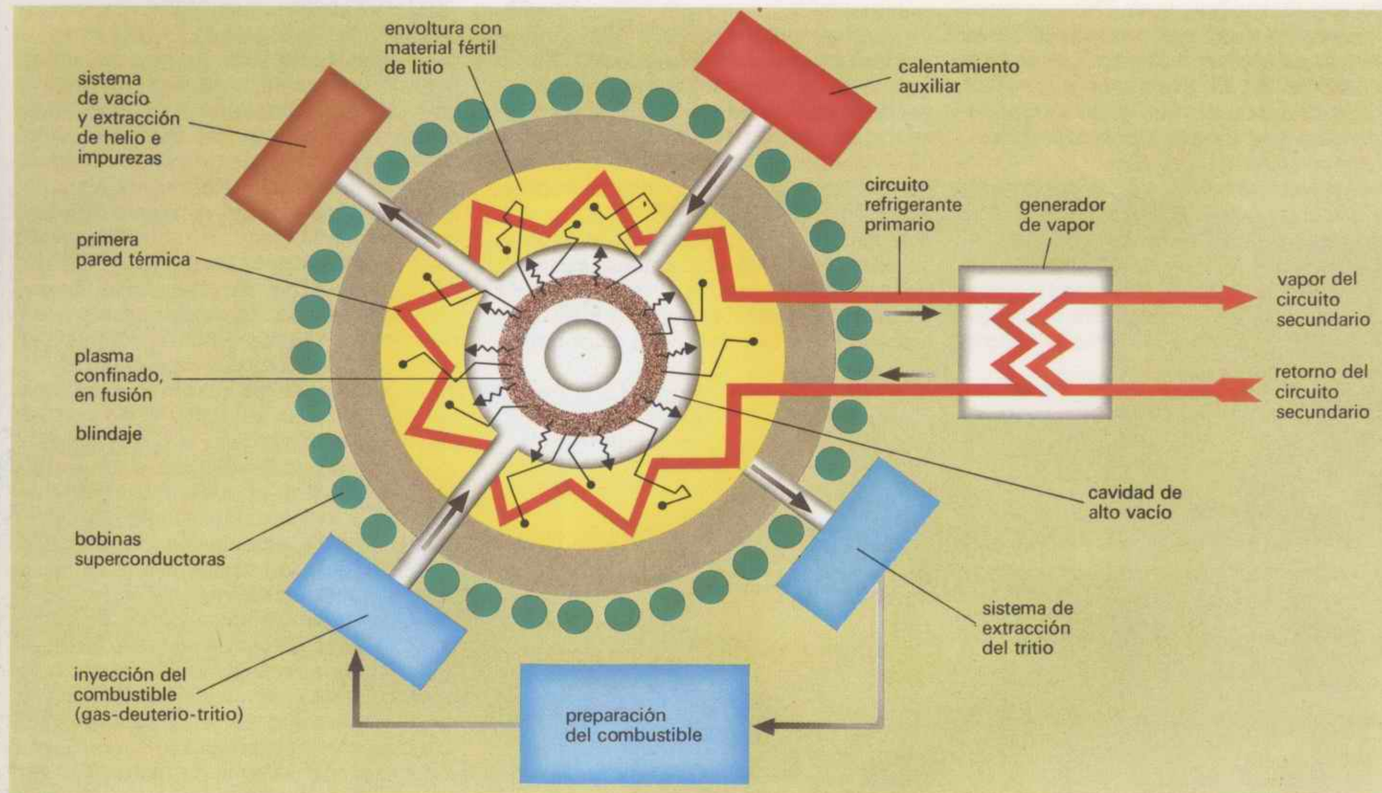
Tipos de centrales nucleares Desde que la fisión nuclear se empleó para la producción de energía eléctrica hasta ahora, la tecnología de estas instalaciones ha evolucionado rápidamente hasta convertirse en una de las de mayor progreso tecnológico en la actualidad. Aunque se han desarrollado diversos tipos de centrales nucleares, que actualmente compiten entre sí, en esencia, el principio general de funcionamiento es sencillo y común a todas ellas: 1) Se produce el calor debido a la reacción de fisión en el núcleo del reactor. 2) El fluido primario, a su paso por el núcleo, arrastra dicho calor manteniendo al núcleo refrigerado. 3) Con el calor del fluido refrigerante se genera vapor, bien directamente, o indirectamente en otro circuito secundario. 4) El vapor alimenta a una turbina que mueve el alternador en el que se genera la electricidad. 5) Un último circuito exterior de agua refrigera y condensa el vapor para cerrar el ciclo termodinámico de funcionamiento.



Los distintos tipos de centrales nucleares desarrollados se diferencian, fundamentalmente, por las características del reactor que utilizan y son los siguientes:

- *Centrales de agua a presión* (PWR), cuyo reactor utiliza uranio previamente enriquecido para aumentar la proporción de su isótopo fisionable, el U-235, hasta un 3%. Con ello puede utilizarse el agua ordinaria que realiza la doble misión de moderador y refrigerante simultáneamente. El combustible está constituido por pastillas cerámicas de óxido de uranio situadas en el interior de unas varillas cilíndricas herméticas de una aleación de circonio (material de alto punto de fusión y muy poco absorbente de neutrones), agrupadas en conjuntos estructurales con cierta separación entre sí para permitir una buena refrigeración por el agua. El circuito primario de agua depurada, que circula en régimen cerrado y a una presión aproximada de unos 150 kilogramos por centímetro cuadrado para mantenerse sin hervir a pesar del calentamiento, lo constituyen el conjunto de la vasija que contiene al reactor, las conducciones, la bomba de circulación, el presurizador y el generador de vapor (en número de uno o varios) y está albergado en el interior del llamado recinto de contención, edificio estanco de hormigón. El vapor se produce en otro circuito secundario también de agua. Estas centrales son las más extendidas en la actualidad en el mundo.
- *Centrales de agua en ebullición* (BWR), que utilizan también uranio enriquecido y agua, pero se diferencian de las anteriores en que el agua, una vez calentada a su paso por el núcleo del reactor, se deja hervir produciéndose directamente el vapor de alimentación a turbinas. No tienen, por tanto, generadores de vapor y su recinto de contención alberga también a las turbinas, por extenderse hasta allí el circuito primario de refrigeración.
- *Centrales de uranio natural, grafito, gas* (UNGG), en las que se utiliza el uranio natural en forma metálica, y envainado en aleación de magnesio y circonio, formando elementos combustibles que se introducen en los canales huecos de un apilamiento de grafito, que hace de moderador. Como fluido refrigerante se utiliza gas carbónico. El núcleo (junto con los generadores de vapor del circuito secundario en algunos modelos) está integrado en un recinto hormigonado de contención.
- *Centrales avanzadas de gas* (AGR), de grafito y gas carbónico como las anteriores, pero con combustible de óxido de

ESQUEMA IDEAL DE UN REACTOR PARA UNA CENTRAL NUCLEAR DE FUSION



En esta página se ha representado el esquema ideal de un futuro reactor para una central nuclear de fusión. El plasma de fusión estaría constituido por deuterio y tritio. El primero se encuentra abundantemente en la Naturaleza (0,016% en el agua de mar) y el tritio podría producirse simultáneamente a partir de material fértil de litio (también muy abundante en la Naturaleza) por irradiación neutrónica de la propia reacción de fusión. El confinamiento magnético del plasma, a 50 millones de grados centígrados, se haría en la cavidad de vacío por grandes bobinas superconductoras y la energía calórica se obtendría en la envoltura por la que circularía el fluido refrigerante primario. Se requeriría un →

uranio enriquecido envainado en acero, con lo que pueden alcanzarse mayores temperaturas de trabajo.

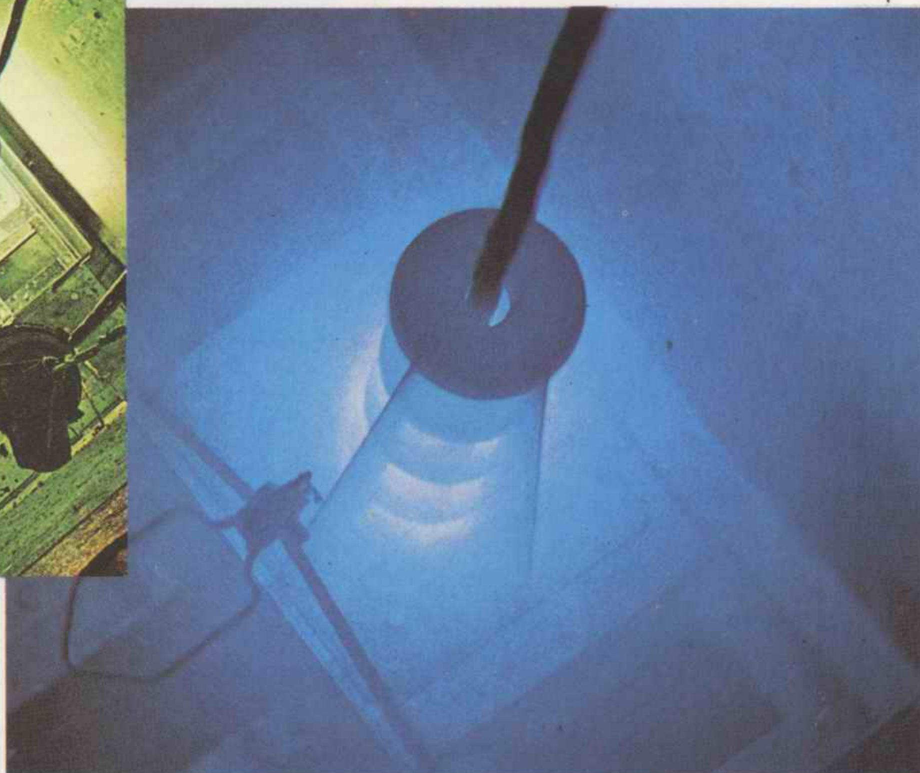
- *Centrales de gas de alta temperatura*, (HTGR) también con grafito como moderador, pero con helio como gas refrigerante y combustible en forma de pequeñas partículas esféricas de carburo de uranio altamente enriquecido. En estas centrales se alcanzan temperaturas todavía más altas y un buen aprovechamiento energético del uranio.
- *Centrales de agua pesada* (HWR), en las que el combustible es de uranio natural y el fluido moderador refrigerante es agua pesada (agua cuyo hidrógeno es el isótopo denominado deuterio, en lugar del hidrógeno ordinario).
- *Centrales con reactores rápidos reproductores* (FBR), que utilizan óxidos de plutonio y uranio muy enriquecidos en vaina de acero, no necesitan moderador (de ahí su denominación de rápidos porque no se produce el frenado de los neutrones veloces), y utilizan el sodio en estado líquido como refrigerante. Están en fase de desarrollo, siendo el prototipo más avanzado el *Superphenix* francés, de 1.250 megavatios. En ellos el rendimiento llega al 40% y su potencia específica es muy superior a las demás. Además, la cantidad de material fisible que generan a partir del uranio no fisible, U-238, que se coloca rodeando al combustible de plutonio, como material fértil, es superior a la consumida en su funcionamiento, por lo que se convierten en reproductoras de material fisionable con un rendimiento superior a la unidad. Con este tipo de centrales puede decirse que comienza una nueva generación de centrales nucleares de fisión.

El reto de la central nuclear de fusión Aun contando con que la generación de reactores rápidos reproductores puede aumentar en un factor de 60 el rendimiento energético del uranio respecto al obtenido en los reactores térmicos (con moderador), las reservas de ese mineral en la Tierra son limitadas, al igual que las del resto de los combustibles fósiles convencionales. En la necesaria búsqueda de alternativas energéticas posibles en que está inmerso el Hombre actual, la del aprovechamiento de la fusión nuclear se presenta como de especial trascendencia, por su mayor potencia específica, la gran abundancia de la materia prima para la preparación del "combustible" en la Tierra, y la ausencia de producción de residuos radiactivos ligados directamente al proceso.

La fusión nuclear consiste físicamente en un proceso de unión de dos átomos ligeros para formar otro de mayor envergadura (mayor peso atómico), proceso en el que se libera mayor energía específica por unidad de masa que en el de la fisión. Esta energía procede igualmente de la transformación de una pequeña masa de los núcleos atómicos de acuerdo con la formula de Einstein. Hay varias reacciones posibles de fusión, principalmente de los isótopos del hidrógeno, que constituyen la mayor fuente energética de calor que recibimos del Sol y del que se produce en las estrellas. En el Sol se fusionan aproximadamente 650 millones de toneladas de hidrógeno por segundo, produciendo cerca de cien cuatrillones de calorías, es decir, una potencia de casi medio cuatrillón de kilovatios. Pero las dificultades técnicas para "domesticar" esta energía, creando un sol en miniatura en la Tierra funcionando bajo control, son gigantescas. En efecto, la reacción de fusión más accesible por el momento a las experiencias científicas, que es la del deuterio con el tritio (ambos, isótopos pesados del hidrógeno) para formar helio desprendiendo neutrones, libera una energía, por fusión unitaria, de 17,6 megaelectronvoltios (abreviadamente MeV, unidad de energía que equivale a $3{,}8 \times 10^{-8}$ calorías), pero necesita que el hidrógeno se haya calentado hasta altísimas temperaturas (50 millones de grados centígrados) para que tengan sus núcleos una energía suficiente para poder fusionarse venciendo las enormes



En un reactor nuclear cada componente debe ser comprobado para lograr la máxima seguridad. En las dos fotos pueden verse las pruebas de irradiación con cobalto 60 de cables para la conducción de energía eléctrica. En la foto inferior se muestran los contenedores para el almacenamiento de las barras de combustible nuclear mientras son introducidos en el reactor, el Superphenix, del tipo veloz autofertilizante.



→ blindaje radiológico para neutrones e isótopos radiactivos inherentes al proceso mismo de fusión, pero no habría producción de residuos inherentes al proceso mismo de fusión como ocurre en el caso de la fisión (residuos del combustible de alta radiactividad).

fuerzas electrostáticas de repulsión que se oponen a ello al aproximarse íntimamente (los núcleos a estas temperaturas están en estado de "plasma", es decir, liberados por completo de sus electrones atómicos). Al no existir posibilidad tecnológica de disponer de un recipiente que pueda contener al gas de fusión caliente (el tungsteno, que es el elemento sólido capaz de resistir mayor temperatura, a 3.410 °C funde ya al estado líquido), el confinamiento del mismo debe realizarse en una cavidad de alto vacío y por medio de campos de fuerzas sin soporte material, utilizándose para ello grandes bobinas superconductoras que crean una zona de confinamiento magnético, en el interior de la cavidad, en forma de anillo toroidal. Pero, aun conseguidas estas condiciones, debe llegarse simultáneamente a una cierta densidad mínima de plasma, mantenida durante una fracción de tiempo suficiente para que se realice de hecho la fusión.



Desde los comienzos de la investigación experimental de la fusión, a mediados de siglo, hasta ahora, se han conseguido éxitos parciales de obtención de alguno de los parámetros de fusión, en experimentos de pequeña escala. Actualmente se construyen ya reactores de prueba más potentes en los principales países investigadores para progresar en estas experiencias. Sin embargo, previsiones para superar este reto sin precedentes, científico, de una parte, para conseguir llegar a las condiciones simultáneas de fusión mantenida, y tecnológico, de otra, para desarrollar las exigencias y requisitos técnicos hasta la consecución de un reactor a escala industrial, no parece realista situarlas en lo que queda de siglo.

Véase **Combustible nuclear; Energía eléctrica, producción de; Fisión nuclear; Fusión termonuclear; Núcleo atómico; Radiactividad**

Centrifugadora

Aunque comúnmente las centrifugadoras son consideradas máquinas "extrañas", de empleo especializado, utilizadas en la ciencia y en la industria, en realidad en casi todos los hogares es posible encontrar una.

Las centrifugadoras son fundamentalmente aparatos que giran a gran velocidad y cuya función principal consiste en separar líquidos y sólidos o líquidos no miscibles, basándose en la utilización de la fuerza centrífuga. Cuando los sólidos en cuestión son ropas embebidas en agua procedentes de una lavadora, la centrifugación es la técnica más rápida y eficaz para separar el agua (el líquido) de la ropa (el sólido).

La centrifugadora es un instrumento indispensable en la industria y en los laboratorios de investigación.

Gravedad y fuerza centrífuga La separación de los elementos de una mezcla se produce por sí misma normalmente cuando la mezcla se deja en reposo. Para visualizar este proceso de separación se puede observar un simple tarro de mahonesa. Si se deja durante un cierto tiempo en reposo, las partículas más pesadas (más densas) se depositan en el fondo atraídas por la fuerza de la gravedad (este proceso se conoce con el nombre de *sedimentación*), mientras que el aceite, que tiene una densidad menor, forma una capa diferenciada en la parte superior.

La sedimentación por gravedad necesita, sin embargo, muchas horas e incluso días para producirse. En una centrifugadora la rotación genera una fuerza mucho mayor que la de la gravedad: la fuerza centrífuga, originada en todo cuerpo que gira y que tiende a alejarlo de su eje de rotación. La aceleración generada por la fuerza centífuga puede ser entre varios cientos y un millón de veces la aceleración provocada por la gravedad terrestre. De esta forma las partículas de mayor densidad se separan rápidamente en las paredes sin depositarse en el fondo. Las centrifugadoras modernas son tan veloces y precisas que permiten la separación en capas diferenciadas de partículas con masas muy similares: por ejemplo, un elemento químico y uno de sus isótopos.

Gracias a este alto nivel de perfeccionamiento, las centrifugadoras pueden ser utilizadas para concentrar o purificar partículas o componentes disueltos o en suspensión en líquidos, o viceversa, para purificar un líquido en el cual había partículas sólidas en suspensión.

Componentes de una centrifugadora Hay muchos tipos de centrifugadoras, pero en todas ellas pueden distinguirse tres partes principales: el motor, la alimentación y el rotor. El motor tiene la función de hacer girar el rotor. La alimentación es el sistema mediante el cual los materiales son introducidos en la centrifugadora. Hay modelos provistos de conductos que permiten tener un flujo continuo de material; otros tipos tratan una sola porción de material cada vez y se cargan manualmente.

El rotor es la parte de la centrifugadora que gira. Puede tener una pared sólida (como, por ejemplo, una probeta de laboratorio), de forma que el líquido centrifugado se separe en capas diversas, o poseer una pared perforada, de modo que los líquidos sean extraídos del rotor mientras el material sólido (llamado *residuo*) se deposita en la pared interna del rotor.

Tipos de centrifugadora Según su velocidad de giro, pueden ser: de baja velocidad (300 a 3.000 rpm), de alta velocidad (3.000 a 20.000 rpm), supercentrifugadoras (hasta 70.000 rpm) y ultracentrifugadoras (más de 70.000 rpm). De alta velocidad es la centrifugadora tubular, un buen ejemplo de centrifugadora industrial. Su rotor es en realidad un tubo vertical largo y estrecho. Este gira a gran velocidad mientras desde el fondo se introduce material de forma continua. La parte más densa, llamada *fracción pesada*, se proyecta radialmente y se deposita en la parte exterior del tubo de donde se extrae mediante un sifón.

La *fracción ligera*, que permanece más cercana al eje del tubo, se saca a través de otro conducto. Una máquina de este tipo puede utilizarse para purificar los líquidos más variados: aceites lubricantes, zumos de frutas, vacunas, etcétera.

El mismo proceso de fraccionamiento, es decir, separación de compuestos de distinta densidad, es indispensable en la investigación médica, química y biológica, en las que se utiliza a menudo una centrifugadora de probetas. En este proceso un recipiente cerrado (probeta) gira a gran velocidad, de modo que en su interior se realice la sedimentación. El material sólido en suspensión puede así ser separado.

La ultracentrifugadora hace honor a su nombre, siendo el tipo de centrifugadora que alcanza mayor velocidad de giro (más de 70.000 rpm). Utiliza su gran velocidad en la separación de partículas muy pequeñas, en la que ha de tenerse en cuenta el fenómeno de difusión de las mismas, que se opone a la sedimentación.

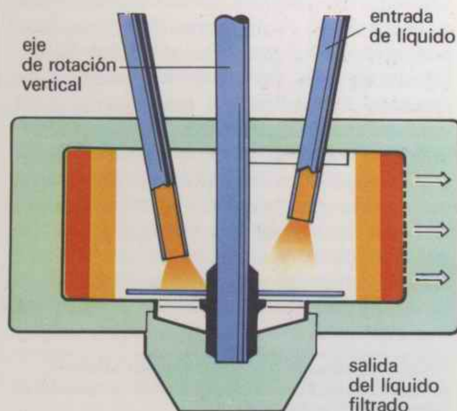
En este tipo de centrifugadora el rotor gira en el vacío y es accionado por el eje del motor a través de soportes herméticos especiales. La ventaja principal de la rotación en el vacío es el control de temperatura.

Una centrifugadora ordinaria, cuyo rotor gira en el aire y no en el vacío, da lugar en su exterior a la formación de calor por rozamiento aerodinámico, y cuando la superficie exterior del rotor aumenta de temperatura respecto al centro, se producen fenómenos de convección (corrientes de movimiento provocadas por gradiantes de temperatura) que en cierto modo perjudican la misión separadora de la centrifugación.

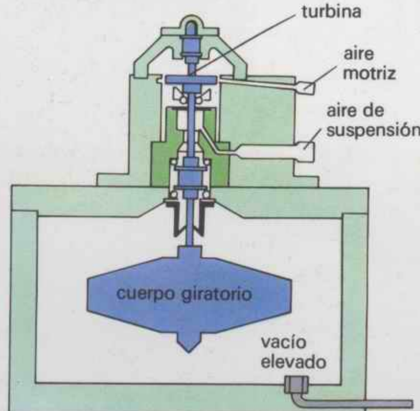
Existe un tipo de ultracentrifugadora en el que el rotor flota literalmente en el vacío sin ninguna conexión con el exterior, de modo que su rotación no es frenada ni siquiera por el infinitesimal rozamiento del eje del motor. Esto se logra mediante un sistema de electroimanes situados en el exterior. El eje de su motor se retrae tras haber imprimido al rotor una velocidad de hasta 15 millones de rps en el vacío; después el rotor seguirá girando hasta que sea frenado mecánicamente.

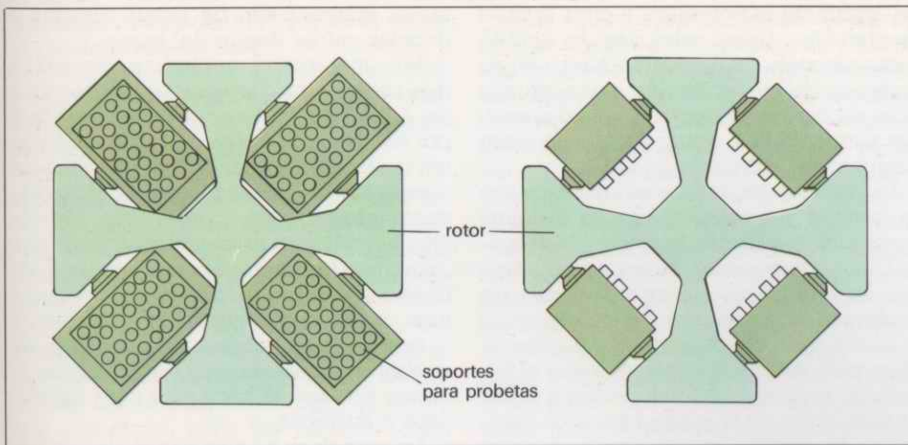
El emplo de la centrifugadora permite acelerar el proceso de sedimentación de materiales que sometidos al campo gravitatorio terrestre emplearían demasiado tiempo para separarse. Por esta razón se emplea tanto en el campo de la producción industrial como en el de la investigación. Abajo, a la izquierda, esquema de una centrifugadora para la separación de grandes cantidades de material. Los dos tubos oblicuos hacen descender desde arriba una mezcla de sustancias con una fase líquida. La veloz rotación hace que la mezcla sea proyectada hacia las paredes del cilindro, desde donde, por la aceleración centrífuga, el líquido puede salir a través de los agujeros, según indican las flechas. El residuo seco se recoge con la máquina parada. A la derecha, ultracentrifugadora capaz de girar a miles de rps, que puede separar las diversas partes de una célula, y por esta razón es ampliamente utilizada en la investigación bioquímica. En la página siguiente, un modelo de centrifugadora utilizada en un laboratorio clínico para la separación del plasma sanguíneo y capaz de trabajar con más de 100 probetas simultáneamente.

ULTRACENTRIFUGADORA CON ROTOR SUSPENDIDO POR AIRE



CENTRIFUGADORA POR DECANTACION CON ROTOR SUSPENDIDO





Dotada de ventanas de observación, este tipo de ultracentrifugadora permite a los científicos registrar fotográficamente la velocidad de sedimentación y el tiempo de equilibrio (es decir, el tiempo necesario para que cada capa alcance el estado de estabilidad). Ambas medidas tienen valores específicos para cada sustancia.

Los bioquímicos han podido aislar mediante centrifugación partículas subcelulares tales como núcleos, mitocondrias, lisosomas, microsomas e incluso enzimas. En algunos casos las modernas ultracentrifugadoras han permitido también determinar la función de estos componentes.

Véase **Fuerzas centrífuga y centrípeta**

sentido de rotación

rotor

soportes múltiples

bisagra

sistema basculante para orientación del portaprobetas

soportes basculantes



La palabra *cerámica* deriva del griego *kéramos*, que significa "de lo referente al arte de la arcilla". A pesar de que todavía se emplee este término para hablar de ollas, recipientes, vasos de terracota y objetos similares, después de la I Guerra Mundial la cerámica ha llegado a ser una palabra clave en campos tan diversos como la odontología, la arquitectura, la electrónica, la industria del automóvil, la aeronáutica y la energía nuclear.

La cerámica tradicional La cerámica tradicional está constituida por sustancias o componentes que se encuentran en la corteza terrestre. Estas cerámicas antiquísimas incluyen el vidrio, compuestos hidráulicos a base de cal como la argamasa y el cemento, las cerámicas blancas (término general para designar los artículos de cerámica), la porcelana y otras arcillas de grano fino (cuyo color claro es debido a una carencia de óxidos de hierro en su composición) y arcillas de grano grueso ricas en óxidos de hierro (llamadas *arcillas estructurales*) como las que se usan para fabricar ladrillos y tejas.

Las arcillas empleadas en cerámica son en general una combinación de distintos materiales: arcilla, caolín, sílice y feldespato. Cada componente da unas determinadas características al barro: la arcilla de ceramista se utiliza para dar consistencia, el caolín para dar consistencia y color, la sílice para dar dureza, mientras que el feldespato proporciona luminosidad y brillo. La extracción de la arcilla para usos cerámicos se realiza generalmente a cielo abierto, variando los sistemas de acuerdo con la configuración del terreno, clase del yacimiento y medios disponibles.

Ciertos enclaves geológicos son particularmente apreciados por sus minerales susceptibles de ser utilizados como pastas cerámicas.

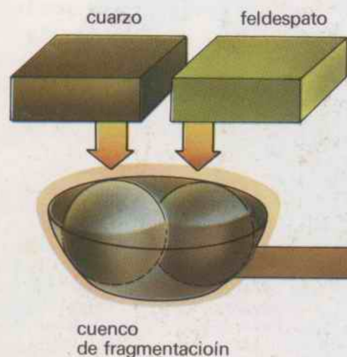
Los objetos de arcilla son modelados, por lo general, a mano o en un torno de alfarero; después son secados, a fin de eliminar de ellos el agua, para a continuación someterlos a altas temperaturas dentro de los hornos de cocción.

Las cerámicas vidriadas se esmaltan, una vez cocidas, a pincel, con soplador o sumergiéndolas en un recipiente con esmalte; después son de nuevo cocidas y dejadas enfriar dentro del horno.

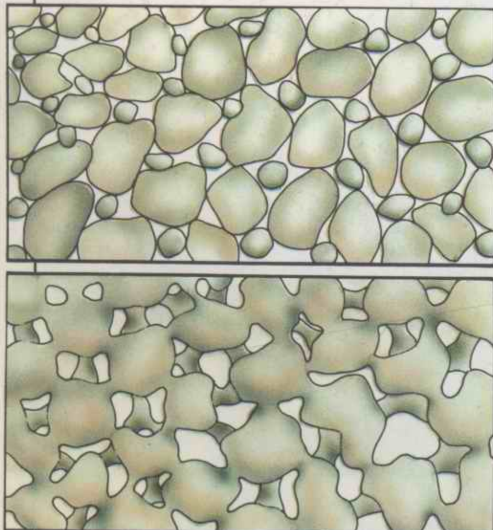
Los materiales cerámicos presentan dos ventajas fundamentales: resistencia a las altas temperaturas y baja porosidad; por eso los recipientes de cerámica resisten la abrasión y cuando han sido cocidos o esmaltados no pierden nada del líquido contenido en ellos. El ceramista aprovecha al máximo esas ventajas naturales combinando diversos componentes. Para fines industriales, los técnicos valoran esas cualidades controlando atentamente la composición química de materiales de cerámica a menudo muy puros, contrariamente a lo que se hace para fines domésticos o artísticos.

La porcelana ha sido uno de los primeros materiales cerámicos que se ha estudiado y sometido a investigación química. Durante la I Guerra Mundial, la porcelana fue empleada como aislante para la corriente continua a baja tensión, como la de la telegrafía y la de la luz eléctrica.

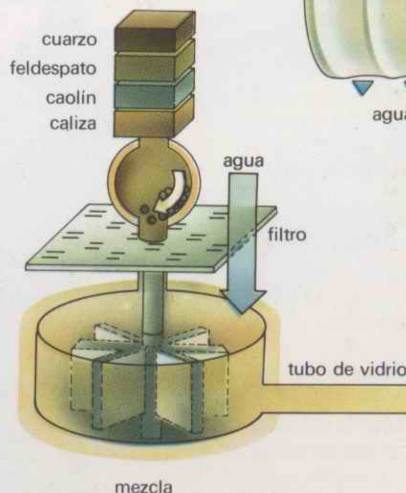
En los años veinte, cuando se empezó a desarrollar la transmisión eléctrica a alta frecuencia y tensión, como por ejemplo la de la radio, era necesaria una mayor calidad de la porcelana, porque el sodio y el potasio, utilizados como fundentes en la porcelana eléctrica, contribuían a la pérdida de energía a las frecuencias más altas de la corriente alterna. El problema fue resuelto cuando los científicos prepararon



La fabricación de la cerámica comienza con la adecuada preparación de la mezcla de cuarzo y feldespato, que primero son fracturados y después molidos muy finamente. A continuación se procede a formar una mezcla con poca agua, para obtener una pasta fluida que será →



Después de la filtración, la pasta cerámica es fluidificada de nuevo. A continuación se pasa a la cocción en el horno a 900 °C. Se obtiene así un material poroso (arriba). Para las aplicaciones alimentarias es necesario que sea totalmente impermeable a los líquidos, como si se tratase de un cristal (abajo), por lo que se somete a un proceso de vidriado aplicando sobre su superficie una pasta de cuarzo, feldespato, caolín y caliza. Posteriormente los objetos sufrirán una segunda cocción final a 1.300 °C.



sustancias de unión que contenían esteatita, una mezcla de óxidos de magnesio y de silicio (el silicio, el elemento metálico más abundante, se encuentra sólo en combinación con el oxígeno) obtenidos combinando arcilla con talco.

Nuevas cerámicas Las cerámicas tradicionales están basadas en óxidos metálicos como los óxidos de silicio, magnesio, aluminio, hierro, que son los más abundantes en la Naturaleza. Hoy día los científicos que investigan sobre la cerámica técnica o industrial han distinguido, desde el punto de vista químico, tres clases de materiales. Los óxidos constituyen el grupo más numeroso, pero los nitruros (compuestos de elementos metálicos y nitrógeno) y los carburos (con el carbono) son también muy importantes.

Las pastas cerámicas de óxidos metálicos son las menos costosas y las más fáciles de obtener y de transformar en estructuras útiles y duraderas; de hecho, todo el vidrio que se presenta normalmente es una combinación de óxidos en un estado de tipo líquido o precristalino.

Muy notables por su resistencia a la corrosión a todas las temperaturas y por su resistencia eléctrica, los óxidos cerámicos son esenciales en la industria eléctrica, electrónica y aeroespacial. Los aislantes térmicos de cerámica —utilizados en los hornos, en los cables no combustibles y hornillos a altas temperaturas— están hechos de porcelana aluminosa (porcelana con alto contenido en alúmina); los aislantes eléctricos a altas temperaturas —empleados en las líneas de alta tensión y en las bujías de los motores, por ejemplo— están hechos de alumino-silicatos elaborados y similares a la arcilla, sílice fundida y alúmina. Los aislantes electrónicos, como ya se ha indicado anteriormente, están hechos fundamentalmente a base de esteatita. Los óxidos son también utilizados en los amplificadores estereofónicos, en la unidad de memoria de los ordenadores y en los componentes de los aparatos de microondas.

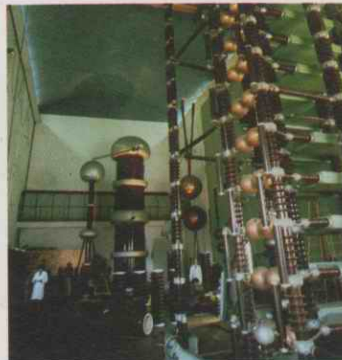
Los nitruros como el nitruro de boro y el nitruro de silicio son muy apreciados por su resistencia a la rotura y a las temperaturas extremadamente altas. Estos materiales cerámicos han realizado un buen servicio en los componentes de los motores de turbina, eliminando la necesidad de disponer de sistemas de refrigeración, que disminuirían la eficiencia del funcionamiento. Tanto las cerámicas de óxidos como las de nitruros se utilizan en los conos terminales de los cohetes.

Los carburos, como el carburo de silicio, el carburo de tungsteno y el carburo de titanio, son casi tan duros como el diamante y se utilizan principalmente como utensilios para cortar y como partículas abrasivas.

La cerámica ha sido utilizada durante miles de años con resultados cada vez mejores. Constituye un objeto de estudio interesante no sólo para los arqueólogos que encuentran vasos antiguos, recipientes y otros útiles de cerámica cuando excavan para investigar el pasado, sino también para los científicos que investigan nuevos materiales cerámicos a fin de atender demandas específicas de la industria moderna.

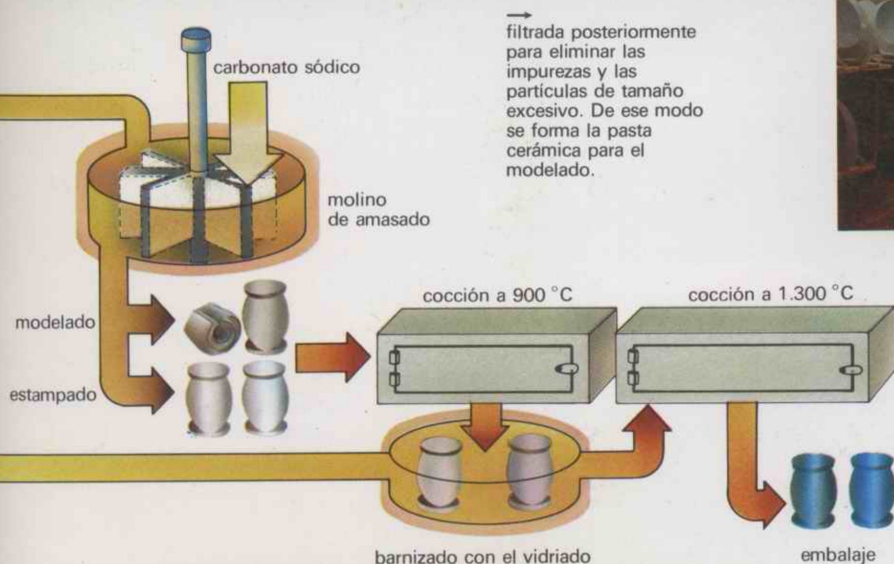
Véase **Semiconductor; Vidrio**





La fabricación de pequeños objetos cerámicos se puede efectuar a gran escala (a la izquierda). En objetos de dimensiones mayores, como los hidrosanitarios (abajo), es preciso evitar que se produzcan grietas de retracción durante el secado y la cocción. Aquí a la izquierda, objetos de gran resistencia mecánica y eléctrica aislantes para altas tensiones.



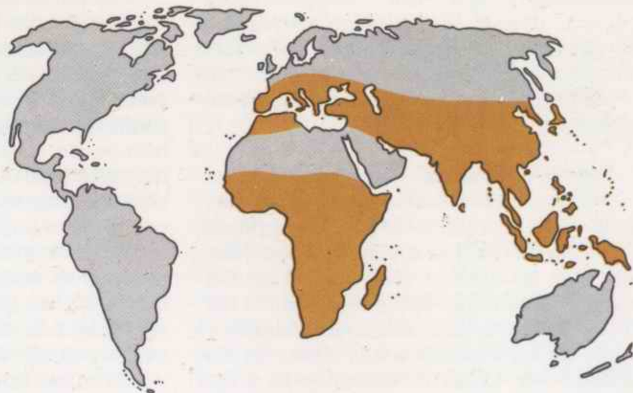


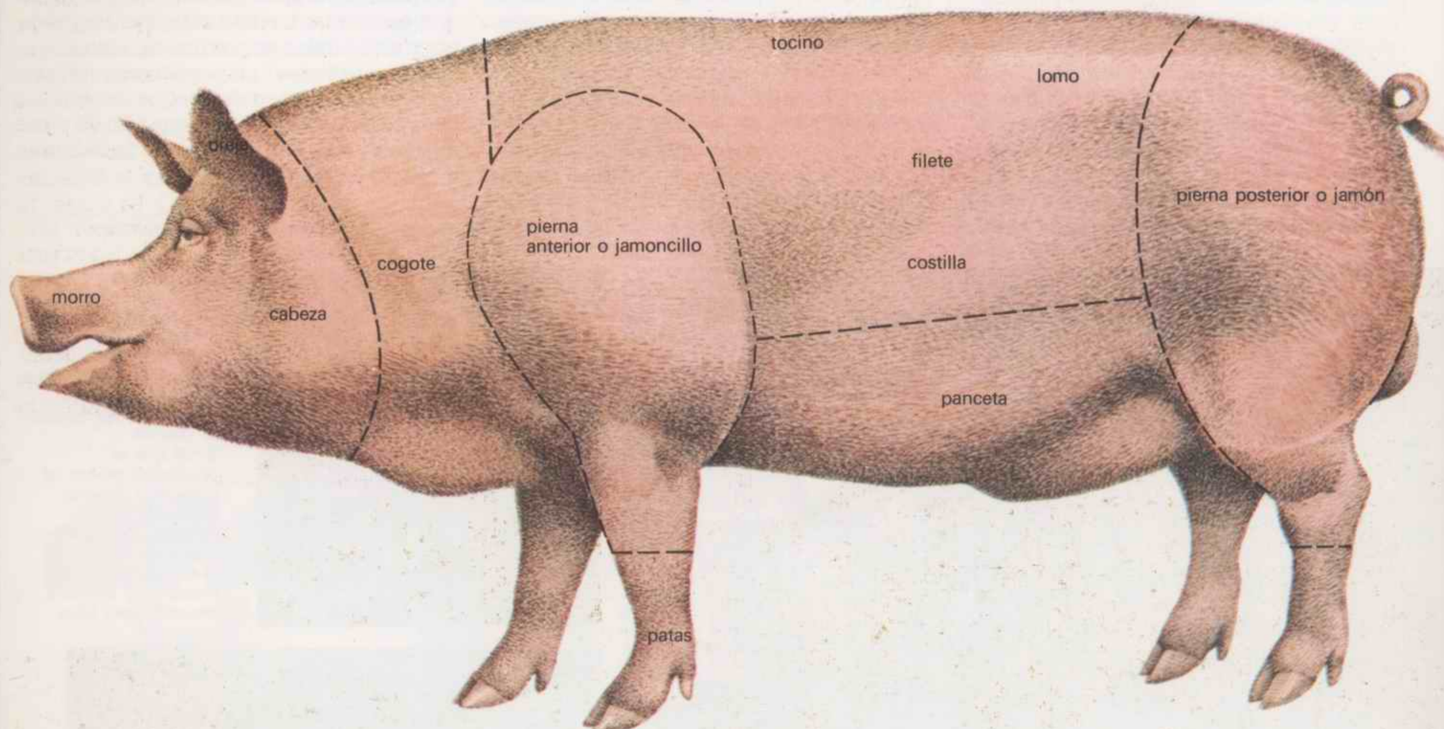
→ filtrada posteriormente para eliminar las impurezas y las partículas de tamaño excesivo. De ese modo se forma la pasta cerámica para el modelado.

Cerda, ganado de

El cerdo (*Sus scropha palustris*) viene siendo utilizado por el hombre desde épocas prehistóricas. Es el resultado de la domesticación del jabalí o cerdo salvaje, que ya se realizaba en China hace más de 5.000 años. Pertenece al orden de los Artiodáctilos, mamíferos de pezuñas con cuatro dedos, los dos centrales mayores, de forma que el peso es sostenido por los dos dedos medios que son los únicos que tocan el suelo. El aspecto más característico del cerdo es su gran cabeza, terminada en una jeta casi cilíndrica. Su hocido flexible termina en un disco plano y sin pelos con los dos orificios de la nariz compuestos de tejido muscular, y lo utiliza para hozar en el terreno, permitiéndole localizar el alimento gracias a su excelente olfato. Esta característica es aprovechada también en algunos países para la búsqueda de las trufas, que constituyen un manjar especial para el cerdo.

A la derecha, áreas de distribución de las especies porcinas. Todas las especies pueden alcanzar un peso relevante, que llega a su máximo en las especies domésticas. El número de crías, que es de 2 a 4 en las especies selváticas, puede ser de 7 a 20 en las domésticas, y está destinado a aumentar. Abajo, distintas partes del cerdo en relación con su aprovechamiento para carne.





Los cerdos son omnívoros y en la antigüedad habitaban las zonas boscosas del Viejo Mundo. Su aparición se remonta al Oligoceno, hace aproximadamente 35 millones de años.

Dada la variedad de su dieta, los cerdos tienen dientes molares cuyas coronas presentan los vértices redondeados para permitir la masticación de alimentos de diversa dureza. También los caninos son bastante característicos; los caninos inferiores forman gruesos colmillos que sobresalen de la boca, se apoyan en el hocico y sirven como arma. Los caninos superiores se mantienen afilados por el roce con los colmillos inferiores. Los colmillos son más pronunciados en los ejemplares machos.

El jabalí se asienta en parajes tranquilos donde existan pantanos fangosos para poder refrescarse y donde tenga facilidad para conseguir alimento. Contrariamente al parecer común, los porcinos no deponen jamás sus propios excrementos en el fango en el cual se revuelcan. La mayor parte de ellos se mueve alrededor de su guarida en una red de senderos bien señalados. Son animales sociables que, en general, prefieren estar en contacto con otros miembros del grupo; están dotados además de una vasta articulación sonora que les permite un amplio "vocabulario", comprendidas las señales de advertencia ante el peligro y de deseo de aparearse.

Variedades Probablemente una de las especies más raras es el jabalí verrugoso (*Phacochoerus aethiopicus*), típico de las sabanas africanas. Contrariamente a los otros jabalíes, esta especie, con un peso cercano a los 100 kg, es activo durante el día. Las verrugas prominentes sobre la cabeza del macho son escrecencias de piel que carecen de estructura ósea. Estos jabalíes a menudo se alzan apoyándose en las patas posteriores y usando los colmillos para arrancar la vegetación. Utilizan cuevas abandonadas por otros animales para protegerse. El último que entra en la guarida tiene la tarea de ahuyentar a cualquier depredador indiscreto que se presente, mostrándole los colmillos.

El babirusa o cerdo ciervo (*Babyrousa babyrussa*) de la isla Célebes (Malasia) tiene un tamaño similar al del jabalí verrugoso; y un cuerpo casi sin cerdas. Los colmillos superiores se desarrollan en medio del hocico y se curvan hacia atrás sobre la cabeza; no son por tanto utilizables como arma de defensa. Una leyenda dice que durante la noche estos extraños animales penden de las ramas de los árboles sosteniéndose con los colmillos.

De aspecto más agraciado es el jabalí de río (*Potamochoerus porcus*), con el cuerpo de color rojo oscuro, el hocico gris y la crin blanca. Habita en regiones húmedas con densa vegetación y es uno de los principales azotes de las zonas agrícolas del Africa subsahariana.

La especie más característica es el jabalí común (*Sus scropha*) euroasiático.





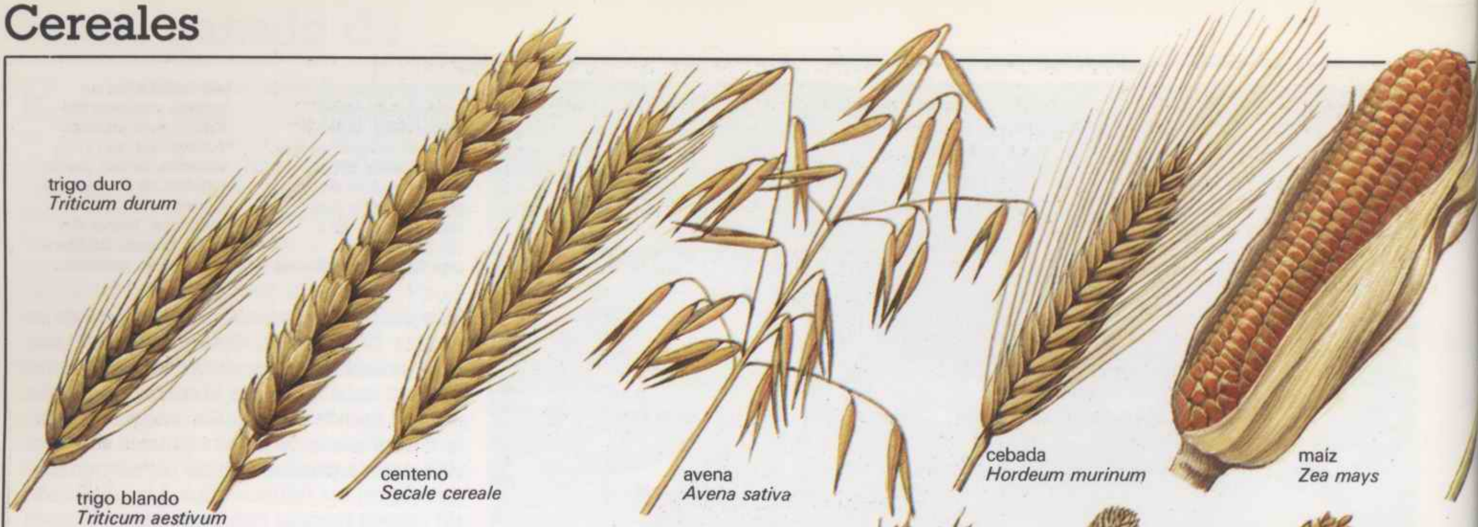
Fotos: V - DIA-Verlag - Heidelberg

A la izquierda, un joven ejemplar de jabalí marismeño. El jabalí tiene el cuerpo macizo, con piernas cortas, y está revestido de una pelambre más bien rasa de color gris oscuro. Debajo, una familia de jabalíes verrugosos en un parque nacional de Kenya. Los jabalíes verrugosos son cazados ya sea por la calidad de su carne o por el marfil de sus colmillos. Abajo del todo, crianza moderna de ganado porcino.

Fue domesticado en Oriente, hace por lo menos 5.000 años; desde entonces han sido criadas y seleccionadas muchas razas con características diversas según sea el fin al que se destine. De cualquier modo, la mayor parte de estos animales son criados para la producción de carne, con tendencia en los últimos años a la obtención de carnes magras con poca grasa. Existen además razas especiales empleadas para la producción de *bacon*. Como subproducto se obtienen las cerdas y el cuero. Los cerdos, que pueden llegar hasta los 450 kg de peso, son cebados en gran parte con desperdicios y subproductos de la alimentación humana (patatas de desecho, cereales no utilizables, etc.). La carne de cerdo en estado fresco es una óptima alternativa a la carne bovina, tanto desde el punto de vista nutritivo como del económico, y una buena fuente de vitaminas del grupo B_1. La moderna zootecnia tiende a la crianza de cerdos en pequeños recintos con escasas posibilidades de movimiento, siguiendo los métodos de producción masiva de pollos.

Véase **Zoología y zootecnia**

Cereales



Los cereales suministran a la Humanidad mayor cantidad de alimento que cualquier otra clase de cultivo. Efectivamente, una de las palabras con las cuales se denomina al arroz —uno de los cereales por excelencia— en sánscrito tiene el significado de "sustento de la raza humana". Los cereales son un grupo de plantas que botánicamente pertenecen a la familia de las gramíneas, que además del arroz incluye el trigo, el maíz, el centeno, la cebada, la avena, el sorgo, algunos tipos de mijo, etcétera. Los cereales están incluidos entre las primeras plantas cultivadas por el hombre, permitiendo a los primeros seres humanos establecerse en un lugar y producir por sí mismos parte de los alimentos, actividad que alternaban con la caza y la búsqueda de raíces y frutos. Entre los hallazgos arqueológicos se han encontrado útiles para moler que fueron utilizados hace 7.500 años; sin embargo, los restos de cereales más antiguos hallados datan del año 5.000 a. de C., cuando el trigo se consumía en el Cercano Oriente (Egipto y Mesopotamia).

El arroz se cultivaba ya 3.000 años a. de C. en el Sudeste asiático, donde aún hoy representa el componente principal del régimen alimenticio de la población. La moderna tecnología ha introducido profundas modificaciones en los procesos de molido: hacia final del año 1800 los cereales se molían todavía con muelas de piedra, mientras que los rodillos actuales son más eficaces, permitiendo una utilización más racional de todas las partes que constituyen el cereal.

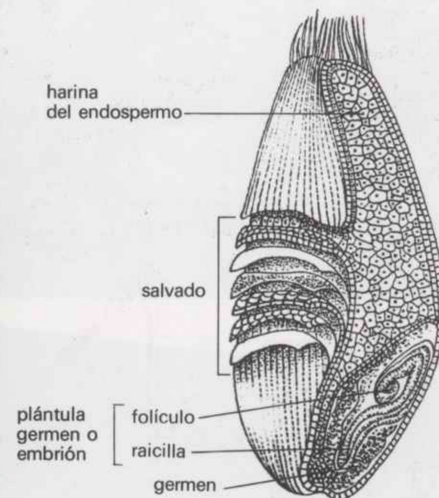
Sin embargo, aunque las técnicas cambian, la sustancia es siempre la misma; desde el año 3000 a. de C. no se ha cultivado ningún otro nuevo cereal digno de importancia.

Variedad de cereales El trigo del tipo *Triticum vulgaris* se utiliza para producir la harina de panadería, pudiéndose cultivar en la mayor parte de las tierras no pantanosas y de clima templado. La sémola extraída del trigo tipo *Triticum durum* es la indicada para la producción de pastas



Arriba vemos las espigas de los cereales cultivados hoy en día en las distintas partes del mundo. Se trata sólo de los tipos más corrientes, ya que actualmente han sido creadas muchas variedades con el fin de multiplicar la producción de su valiosa semilla. Las espigas no están todas representadas a la misma escala: las del mijo y del maíz están muy reducidas.





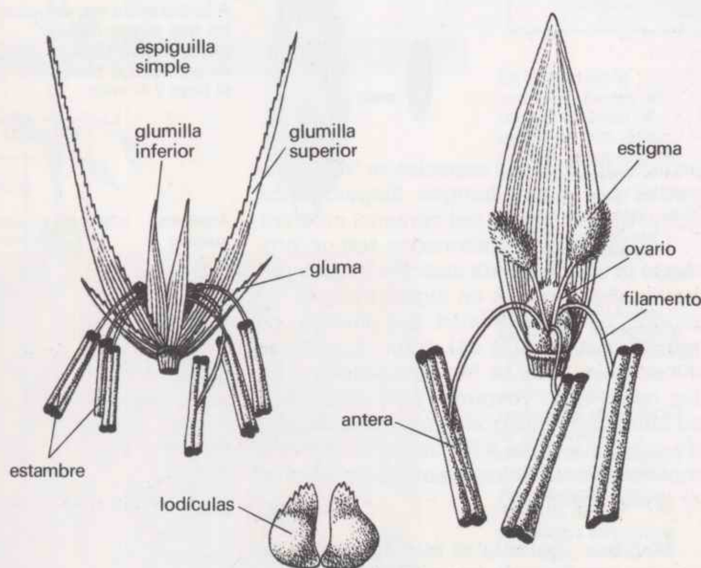
Arriba, a la izquierda, vemos un gran campo de maíz. La historia de este cereal, hoy valiosísimo, se remonta a los albores de la Humanidad. Parece ser que en Méjico se cultivó una pequeña espiga de gramínea que poco a poco, a lo largo de milenios, dio lugar a las variedades actuales de maíz con mazorcas de más de veinte centímetros de largo. Desde Méjico el maíz se difundió a Europa, que a su vez se convirtió en un centro secundario de su difusión. Efectivamente, desde Europa el cultivo del maíz se extendió a Asia Menor, a Asia Meridional y finalmente también a Extremo Oriente. En los últimos veinte años han sido creados híbridos más productivos y variedades de alto contenido en lisina. Ultimamente su cultivo ha aumentado mucho, ya que constituye una base muy valiosa para la producción de los piensos utilizados en la crianza del ganado para carne.
Arriba podemos observar la sección de una semilla de trigo.


arroz
Oryza sativa

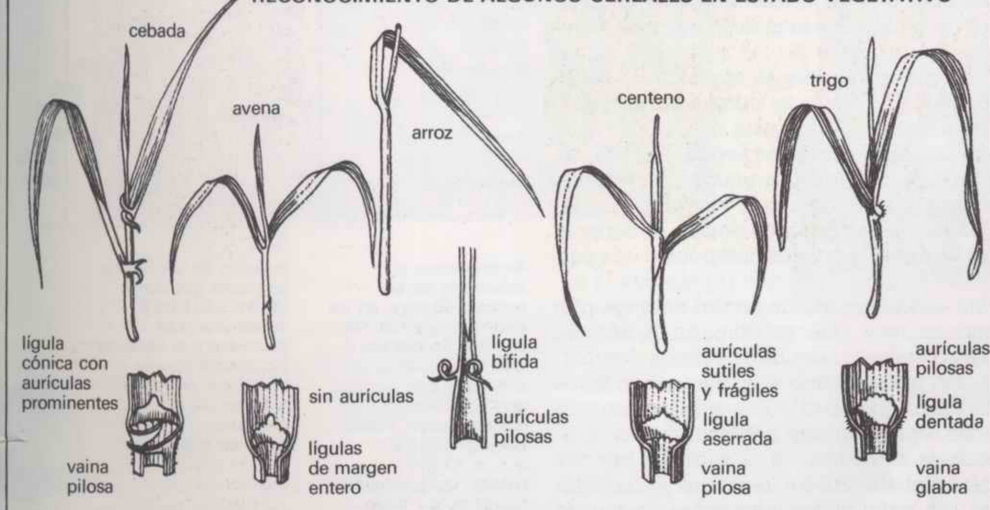
COMPOSICION QUIMICA Y VALOR NUTRITIVO DE ALGUNOS CEREALES (%)							
Cereales	Agua o humedad	Proteínas	Lípidos	Glúcidos	Fibra	Cenizas	Valor energético, kcal/100 g
Avena	13	13,0	7,5	63,7	1,4	2,8	374
Trigo duro	11,5	13,0	2,9	70,8	3,3	1,8	361
Trigo blando	12,0	12,3	2,6	71,5	2,8	1,6	359
Maíz	12,5	9,2	3,8	73,0	2,2	1,5	363
Cebada descascarillada	12,2	10,5	1,4	74,0	0,7	1,2	347
Arroz descascarillado	12,9	7,0	0,6	77,9	0,2	1,6	345
Centeno	13,7	11,6	1,7	71,1	2,1	1,9	346

Los cereales son alimentos conocidos desde las épocas más remotas. Constituyen la fuente más económica y abundante de energía. Sin embargo no son alimentos completos, teniendo por lo tanto que añadir a su consumo otros alimentos más ricos en elementos nutritivos. No es aconsejable consumir sólo cereales debido a su bajo contenido en proteínas. En el cuadro, el valor nutritivo de los diferentes cereales.


espiga de centeno en flor



Arriba a la derecha, una espiga con el detalle de las flores y su anatomía. Las gramíneas útiles no admiten que durante la fase de fecundación exista polen de especies indeseadas.



Estructura de los tallos e injertos de las hojas de algunos tipos de gramíneas. En la selección de las especies de estas plantas útiles no sólo es oportuno cuidar las características de la espiga sino también controlar igualmente la estructura del tallo que determina su fortaleza. Cuando se crean nuevas variedades puede alterarse también su adaptación a un determinado clima. Sin embargo la característica que hasta ahora ha sido más descuidada, pero que en el futuro estará sujeta a una mayor atención, es la resistencia a los parásitos. Actualmente se remedia con el uso de los plaguicidas que controlan el desarrollo del parásito, pero estos deben degradarse durante el período de cultivo o elaboración, y siempre antes del consumo humano o animal. Puede asegurarse que en este aspecto sólo hubo perfeccionamiento de las especies en la Prehistoria y en los últimos años.

y *couscous*. A la harina de trigo sigue en difusión la de centeno, utilizada en las panificadoras y consumida abundantemente en ciertos países europeos (Alemania, Polonia, Unión Soviética y países del Este) y en general en los países de clima frío.

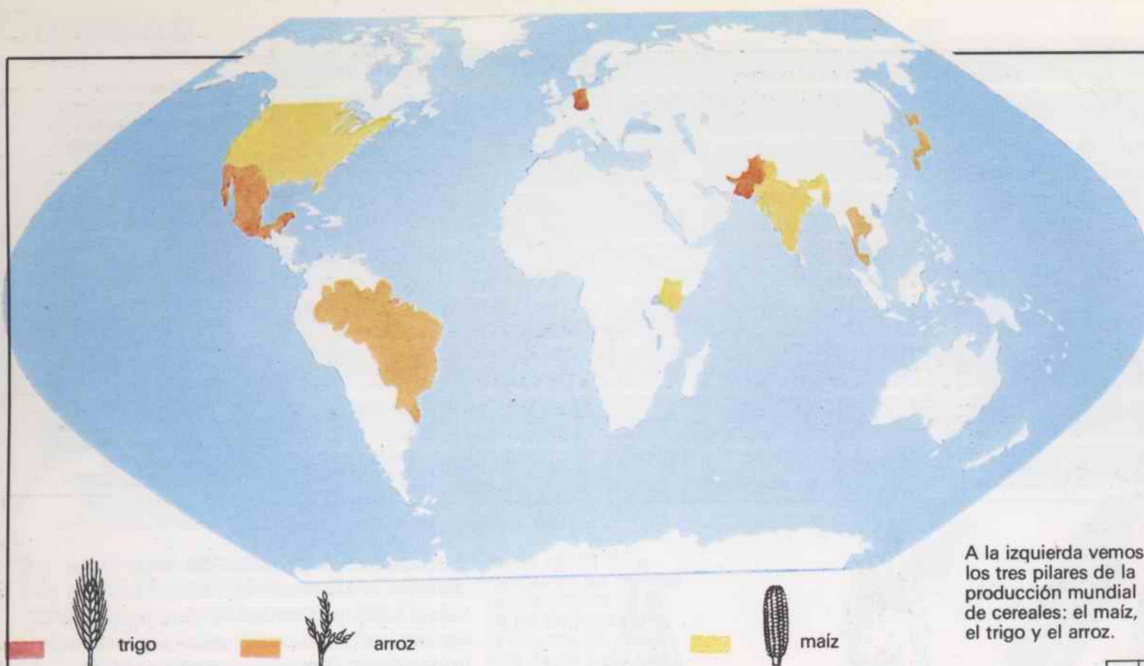
En cuanto al arroz, existen más de 2.500 clases distintas, de las cuales más de 900 crecen en Asia, siendo cultivadas generalmente en vastas llanuras y en las laderas de las colinas trabajadas en forma de "terrazas". Son, sin embargo, zonas con escaso desarrollo de las modernas técnicas de cultivo, por lo que, una hectárea en la que se cultiva arroz requiere casi 1.000 horas de trabajo. Generalmente el arroz se hierve antes de molerlo, facilitándose la penetración de la vitamina B_1 desde los tegumentos externos a la capa amilácea del endospermo.

La cebada es utilizada principalmente para la alimentación del ganado y con una de sus variedades se prepara la malta destinada a la elaboración de la cerveza. La cebada descascarillada tiene un gran uso en la preparación de algunos tipos de sopas.

El maíz y el sorgo se consumen en amplias zonas de América; el aceite de maíz se emplea sobre todo en Norteamérica.

Los granos de avena, que tienen un grueso tegumento y que son discretamente ricos en proteínas, son descascarillados, tostados y consumidos en copos, al igual que algunos otros cereales.

Estructura del grano o cariópside La mayor parte de las cariópsides de los cereales está constituida por tres partes principales. En el trigo, por ejemplo, el corazón está formado por el embrión o *germen*, del cual nacerá la nueva planta, envuelto por el escutelo rico en vitaminas. Alrededor del germen se encuentra el *endospermo*, que contiene los elementos necesarios para la nutrición de la semilla durante el período de germinación; esta capa es también una fuente alimenticia para el hombre, siendo el principal componente de la harina. Por último encontramos las capas protectoras exteriores de la cariópside, llamadas *salvado*, que representan igualmente una buena fuente vitamínica.




trigo

arroz

maíz

A la izquierda vemos los tres pilares de la producción mundial de cereales: el maíz, el trigo y el arroz.

Comparación del rendimiento medio de la producción de estos tres cereales en distintas naciones. El problema de la mejora de los rendimientos tiene la misma importancia que el incremento de la producción para las necesidades humanas. A la derecha podemos observar cómo se obtiene un híbrido de maíz que produce mazorcas de gran tamaño. Para esto es necesaria la preparación de la simiente cruzando especies que han sido seleccionadas; se obtienen dos variedades distintas respecto a la forma del tallo, pero con el mismo tipo de mazorca de gran tamaño.

Producción y cosecha cerealistas La importancia alimenticia de los cereales hace que una mejor práctica de los cultivos cerealistas pueda mejorar el régimen alimenticio de gran parte de la población mundial. Un ejemplo significativo es la llamada "revolución verde" de los años cincuenta, en la que se desarrollaron variedades de trigo semi-enano que duplicaron el rendimiento por hectárea.

Los cereales son plantas que se autofecundan: el polen que se forma en el aparato reproductor masculino de una flor es llevado al aparato reproductor femenino de la misma flor. Para cruzar los cereales, los agricultores transfieren artificialmente el polen del órgano reproductor masculino de una variedad al pistilo de otra.

Aunque el cultivo de cereales ha experimentado las ventajas de la mecanización, la guadaña, la hoz y la trilladora continúan siendo útiles que todavía se usan en muchos países en vías de desarrollo, especialmente en zonas en las que el terreno es montañoso y no permite el empleo de máquinas. En los países desarrollados está más extendida la mecanización de los cultivos: se emplean segadoras y modernas cosechadoras que cortan las espigas, las separan de la paja no comestible, limpian la semilla y la recogen en sacos o en silos. Hoy en día se tarda menos de una hora para cosechar una hectárea de trigo, mientras que manualmente hacen falta más de 34 horas.

Problemas Durante siglos muchas han sido las calamidades que el hombre ha tenido que padecer en el cultivo de los cereales: plagas de langosta y saltamontes se comían las plantas; las malas hierbas las infestaban y los gusanos se alimentaban de ellas atacándolas en el interior del tallo hasta tumbarlas. Los hongos microscópicos parásitos, y en particular los de la clase uredinales, producían la *roya*, haciendo perder a la planta el color verde mientras las semillas menguaban y se arrugaban. Algunas especies se veían atacadas por otros hongos fitopatógenos, como el cornezuelo del centeno, etcétera.

Los cereales amontonados son un producto irresistible para insectos y roedores, hasta tal punto que en algunas zonas del mundo, como en la India, por ejemplo, se pierde hasta el 40% del grano durante su almacenamiento. La tendencia natural de los cereales a "respirar", juntamente con su humedad, desarrolla una gran cantidad de calor que atrae a los insectos. Por este motivo es beneficioso remover y ventilar el grano a menudo.

Molido Durante el molido, el endospermo, que es rico en almidón, se separa de los tegumentos exteriores o salvado, mientras que el germen es expulsado. Antes de efectuarse el molido, se criba el cereal, limpiándolo de las sustancias extrañas (impurezas que se acumulan durante la siega). Después se humedece el grano (o incluso se lava si está demasiado seco para molerlo) o bien es secado suavemente si está húmedo. Los granos son molidos entre cilindros de acero y pasados posteriormente por cedazos donde se separan las tres partes que los componen: una parte del endospermo que representa la harina; partículas harinosas del endospermo más gruesas que constituyen la sémola; partículas mayores de la semilla con parte de endospermo todavía adherida, el salvado. Estas partículas gruesas son molidas repetidamente entre rodillos de acero lisos hasta reducirlas a harina fina. Alrededor del 72% de la semilla cosechada en los campos se convierte en harina.

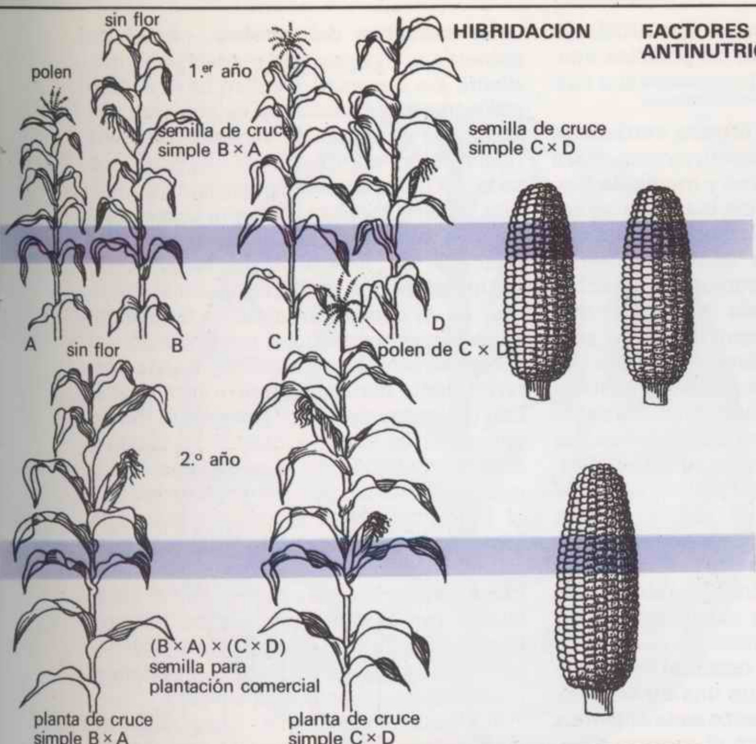
Desayuno con cereales La ya muy difundida caja de cereales para el desayuno tuvo su inicio cuando en 1860 los Adventistas del Séptimo Día, una secta religiosa vegetariana, fundaron el Instituto de Reforma Sanitaria del Oeste en Battle Creek (Michigan, EE UU) y prepararon los copos de cereales, cociendo en horno una masa de harina integral en finas capas que luego eran molidas varias veces hasta obtener diminutos trocitos. Posteriormente J. H. Kellogg inventó una fórmula a base de harina de trigo, avena y maíz y, junto con su hermano, estableció una empresa que seguidamente tuvo un gran desarrollo y cuyos productos se impusieron también en el campo de la Medicina y la dietética.



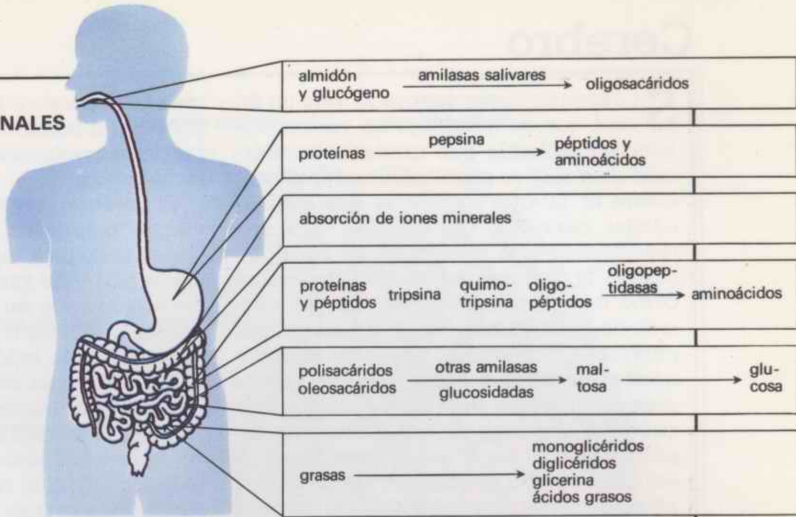
Arriba vemos el calendario de la cosecha de trigo en las distintas regiones del mundo. Se observa que no hay ningún mes en el que no haya que cosechar en alguna nación. Puede notarse la larga estación de la cosecha en países que como EE UU y la URSS tienen una gran extensión con respecto a la latitud, lo que comporta una gran variedad en el clima, responsable de la fecha de la cosecha.

Véase **Agricultura; Alimentación y nutrición; Alimentos; Arroz; Maíz; Trigo**

HIBRIDACION



FACTORES ANTINUTRICIONALES



inhibidores	taninos	derivados del fitol	inhibidores de proteasas



En la foto de la izquierda vemos un campo de arroz, el cereal de más difícil cultivo, porque exige un determinado y constante nivel de agua, a lo que se añade el problema de la eliminación constante de las malas hierbas que vayan apareciendo. Antes éstas eran arrancadas manualmente, mientras que actualmente se prefiere utilizar herbicidas específicos, lo que entraña problemas ecológicos y de contaminación. A la derecha vemos algunos de los productos obtenidos del trigo: muchas clases de pan, pastas, palomitas, galletas, bizcochos y una gran variedad de dulces. Además, la transformación enzimática de los almidones en azúcares, seguida de su fermentación permite obtener alcohol y por destilación producir bebidas alcohólicas de alta graduación.

Cerebro

Si caminando por un prado veis un árbol que se interpone en vuestro camino es probable que cambiéis la dirección de vuestros pasos para evitar chocar contra él. Lo que sucede es que algunas células nerviosas de vuestros ojos han reaccionado a la presencia del árbol enviando la imágen del mismo al cerebro como información nerviosa. Esa información es conducida a través de las células nerviosas, o *neuronas*, según su denominación científica, a lo largo de las cuales viaja el impulso nervioso. Este tipo de neuronas, capaces de transportar los impulsos desde los órganos receptores al cerebro, recibe el nombre de *neuronas aferentes* o neuronas sensitivas. El cerebro reacciona a esa información enviando órdenes mediante las denominadas *neuronas eferentes* o motoras, capaces de conducir los impulsos desde el cerebro a los órganos periféricos, las cuales, a su vez, determinan la respuesta muscular que nos permite cambiar la dirección de nuestros pasos para evitar chocar contra el mencionado árbol. En este contexto, el término "motor" quiere solamente decir que el impulso nervioso originado en el cerebro se ha traducido en un movimiento muscular.

El ejemplo descrito es una explicación intencionadamente muy simplificada del funcionamiento cerebral. En realidad todas las funciones que lleva a cabo el cerebro son de una extraordinaria complejidad. Se calcula que el cerebro humano contiene cerca de 10.000 millones de células, en comunicación unas con otras. El norteamericano C. Hudson Herrick, un pionero de la Neurología, calculó que si solamente un millón de estas neuronas se comunicasen entre sí según una relación biunívoca, el número de combinaciones posibles sería de 10^{278300}, o, lo que es lo mismo, un 1 seguido de 278.300 ceros. Si este número fuera impreso con los caracteres que se utilizan normalmente para imprimir un libro, abarcaría una distancia de más de 6 kilómetros. Sin embargo, las neuronas del cerebro humano son 10.000 millones, y el número total de posibles interacciones recíprocas alcanza un valor casi inconcebible.

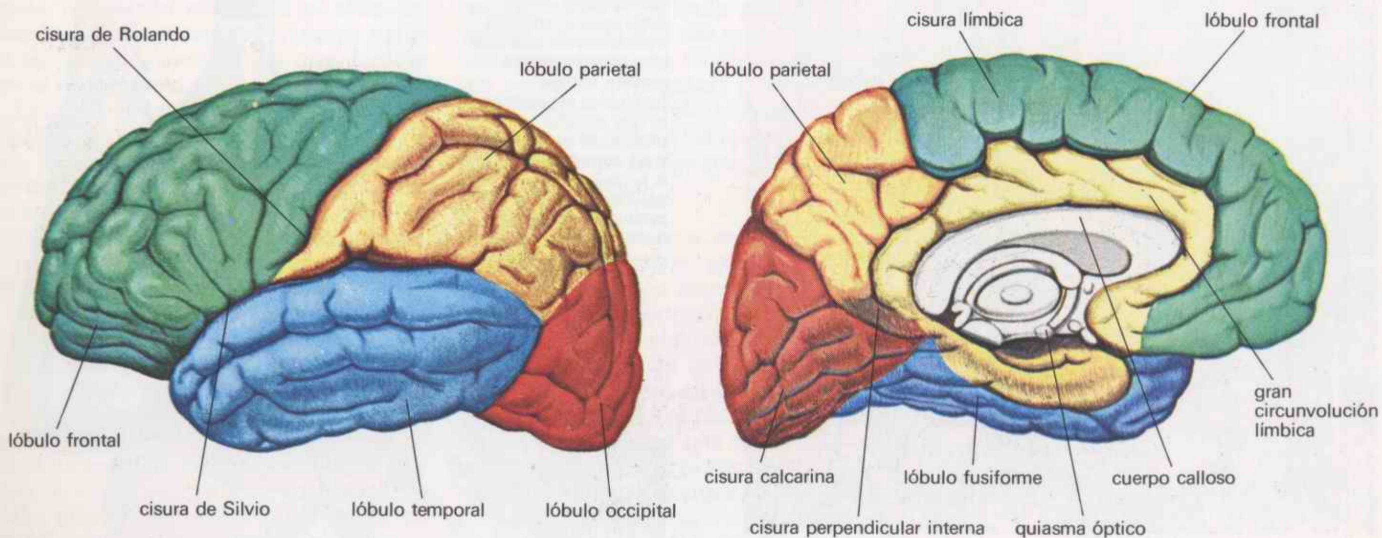
El cerebro humano, órgano verdaderamente "milagroso", constituye una masa de cerca de un kilogramo y medio de sustancia gris y de sustancia blanca, y se encuentra alojado en la cobertura ósea del cráneo y cubierto por unas membranas protectoras de tejido conjuntivo denominadas *meninges*. Se trata del órgano que permite ver y oír, distinguir los olores, percibir los diferentes sabores y tactos, es decir, utilizar los cinco sentidos; es también el lugar orgánico donde toman forma todas las emociones, los pensamientos, las decisiones, la actividad imaginativa. Permite reir y llorar, amar, caminar o correr, experimentar hambre y sed, y realizar cualquier otra acción que pueda llevar a cabo el hombre, entre las cuales se encuentran algunas actividades automáticas como la respiración, la transpiración y la digestión de los alimentos. En cierto sentido, el funcionamiento cerebral es sinónimo de vida, en tanto que una de las definiciones legales de muerte es la ausencia de actividad cerebral en el registro electroencefalográfico.

El cerebro humano es un órgano que ha desarrollado su forma actual gracias a 4.500 millones de años de evolución, y muchos científicos lo consideran como la gran obra maestra de la Naturaleza. El cerebro y la médula espinal forman el *sistema nervioso central*, mientras que los doce pares de nervios craneales y los treinta y un pares de nervios espinales constituyen el *sistema nervioso periférico*. Si se examina al microscopio el tejido cerebral, se descubre que en éste están presentes dos tipos principales de células: las neuronas, citadas anteriormente, y las neuroglias, o simplemente células de la glía, que proporcionan a las neuronas un ambiente circundante de protección (*glía* deriva de una palabra griega que quiere decir "cola", "engrudo").

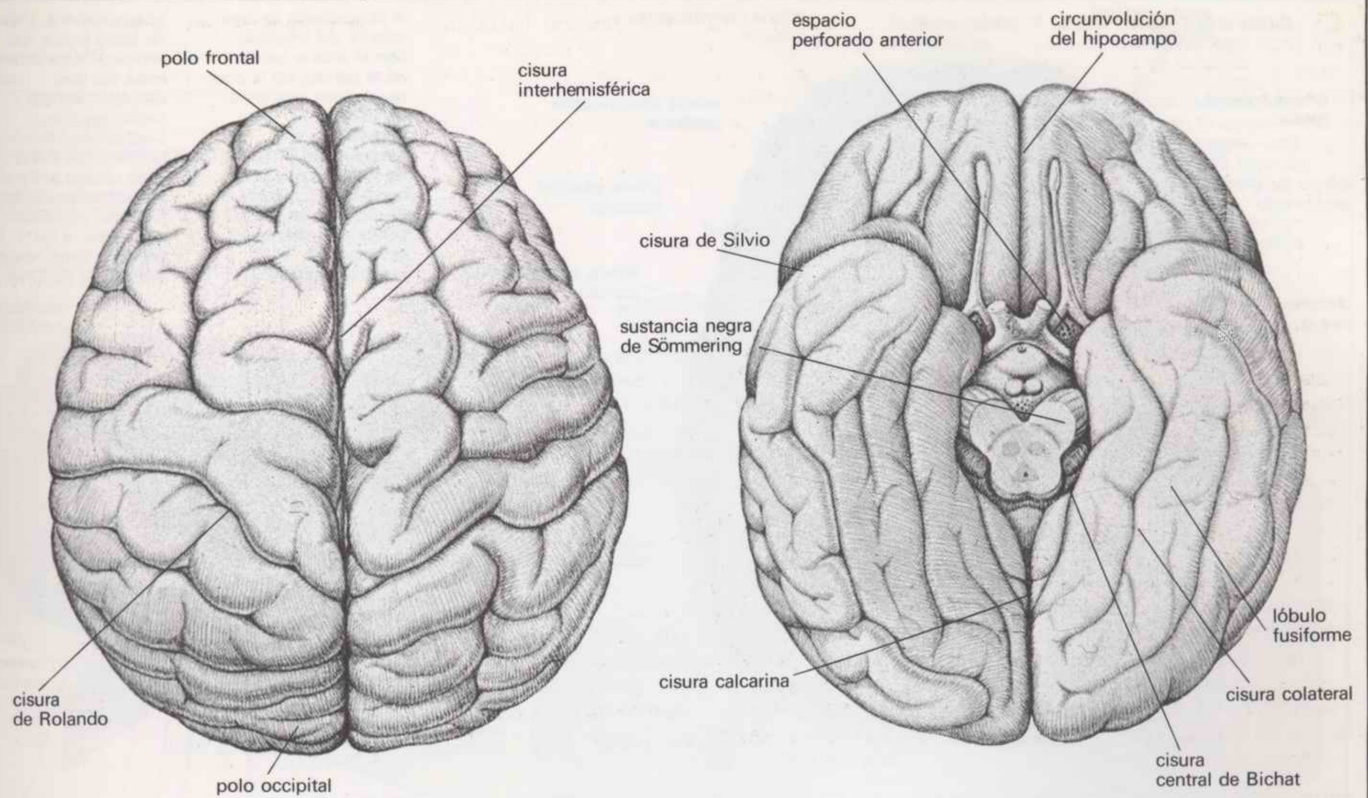
La estructura del cerebro Antes de someter a examen los mecanismos mediante los cuales el cerebro lleva a cabo sus numerosas funciones, es útil tener una visión de conjunto de su estructura. Una descripción completa del cerebro, con toda su complejidad aparentemente infinita, llenaría todo un libro, por lo que aquí se dará solamente una imagen muy simplificada de su estructura fundamental.

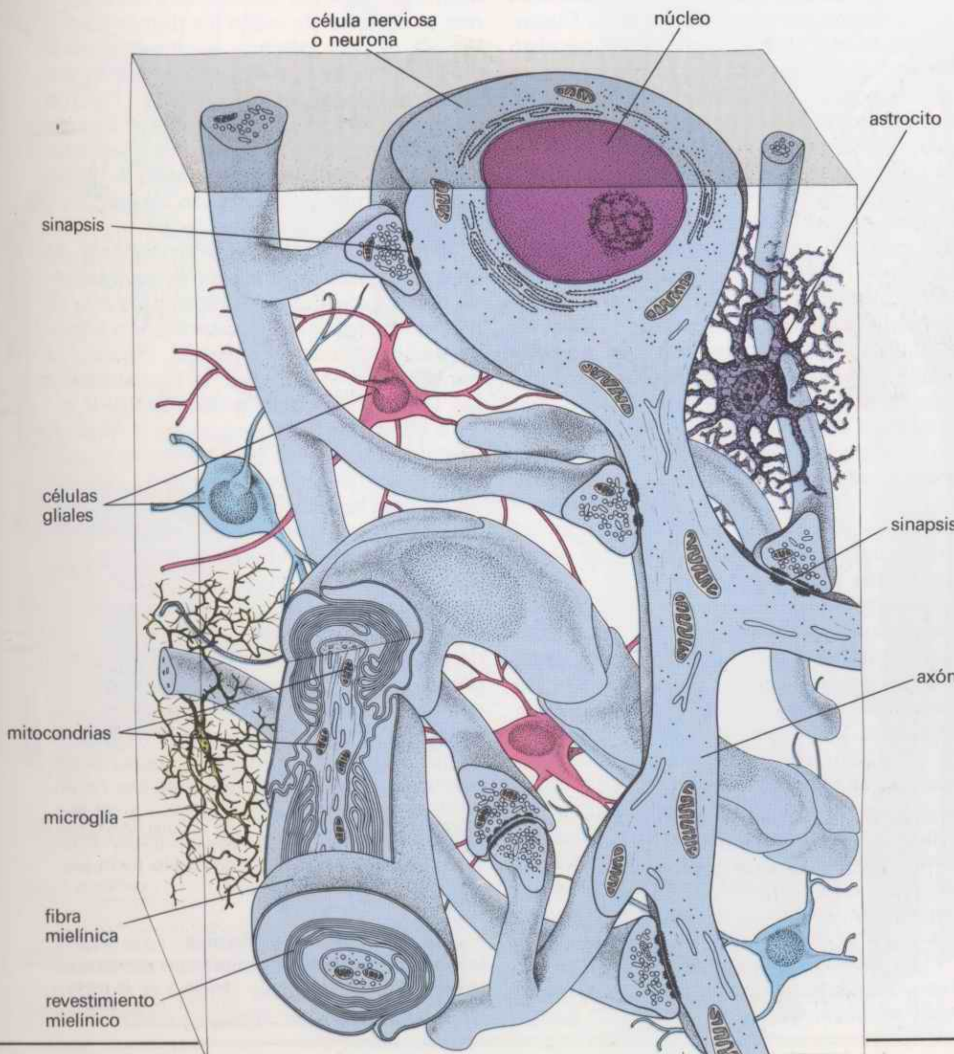
Una primera subdivisión permite distinguir en el cerebro tres partes fundamentales: el rombencéfalo, el mesencéfalo y el prosencéfalo. El rombencéfalo puede posteriormente dividirse en el tronco encefálico o metencéfalo y el cerebro; el tronco encefálico es la parte inferior del cerebro, que se continúa con la médula espinal y que comprende la protuberancia anular y el bulbo raquídeo. El prosencéfalo está formado por el diencéfalo (su región posterior), el tálamo (de una palabra griega que significa "cámara nupcial") y el hipotálamo (en la parte inferior del tálamo). Para poder recordar mejor esta ordenación jerárquica de los órganos, podemos plasmarla en un esquema simple:

I. *Rombencéfalo*, que comprende: A. *metencéfalo*, que incluye: 1) *protuberancia*, 2) *bulbo raquídeo*, B. *cerebelo*.



El cerebro es una semiesfera divisible en dos hemisferios. Cada hemisferio presenta una serie de cisuras que delimitan unos espacios denominados *lóbulos*. En la figura superior izquierda pueden observarse las cisuras y los lóbulos visibles en la cara externa del hemisferio cerebral izquierdo, y, a la derecha, las cisuras y los lóbulos en la cara medial, es decir, la cara contigua al otro hemisferio izquierdo. Se perciben claramente los cuatro lóbulos externos: frontal, parietal, occipital y temporal, el último de los cuales, como puede observarse mejor en el dibujo de la derecha, marca el límite con la cara inferior en la que prosigue con el contiguo lóbulo fusiforme y con la circunvolución del hipocampo. Por encima de ésta, en la imagen de la derecha, la gran circunvolución límbica, que ejerce funciones casi de almohadilla entre los lóbulos externos y el cuerpo calloso. En éste se distingue primero la rodilla, y en la parte inferior, el quiasma óptico.



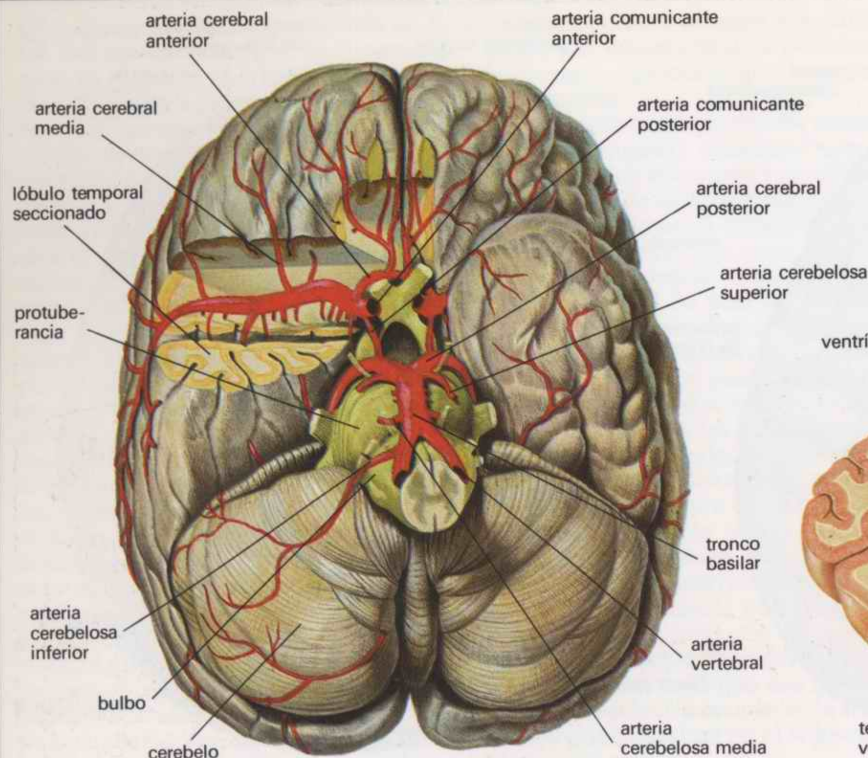


Arriba, a la izquierda, la cara superior del cerebro, donde se observa la gran cisura interhemisférica, y, a la derecha, la cara inferior: en el centro, los cuerpos mamilares, que representan las únicas estructuras visibles desde el exterior del hipotálamo. A la izquierda de estas líneas, un dibujo que representa los elementos fundamentales del tejido nervioso; la célula nerviosa o neurona, su prolongación, o axón, revestida de la vaina mielínica, y las sinapsis o uniones neuronales. Todo ello se encuentra envuelto por las celulas de la neurologlía, microglía y astrologlía, con funciones de sostenimiento y metabólicas.

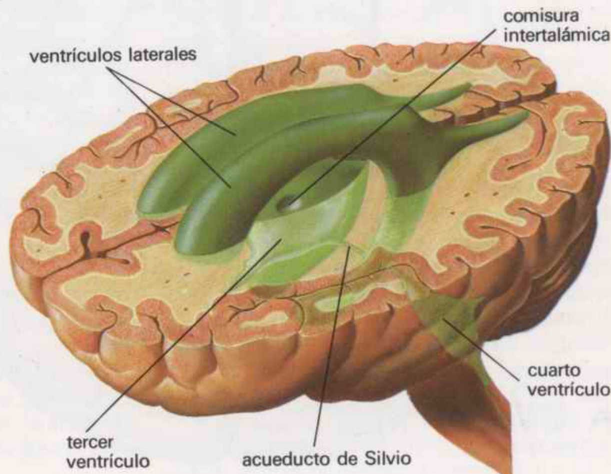
II. *Prosencéfalo*, o cerebro propiamente dicho, que comprende: A. *diencéfalo*, B. *tálamo*, C. *hipotálamo*.

La parte más voluminosa e importante del cerebro es el prosencéfalo, pero aquí iniciaremos la descripción del cerebro por su parte más inferior, donde el tronco encefálico se continúa con la médula espinal. En una fotografía o en un dibujo del cerebro, el bulbo raquídeo aparece simplemente como la continuación hacia arriba, algo ensanchada, de la médula espinal. Como cualquier otra zona del cerebro, también el tronco encefálico tiene unas funciones específicas dentro del ámbito de funcionamiento del sistema nervioso central. El bulbo raquídeo y la protuberancia controlan parámetros orgánicos de vital importancia, tales como el latido del corazón, la presión sanguínea y la respiración.

El cerebelo se encuentra situado por detrás y por encima del bulbo raquídeo, en la base del cráneo. Este órgano contiene muchas de las fibras nerviosas nece-



A la izquierda, la cara inferior del encéfalo con la arteria basilar en el centro, de la cual se originan una serie de vasos que constituyen el denominado *polígono de Willis*. Hacia el hemisferio izquierdo se dirige la arteria cerebral media, que se convierte posteriormente en la arteria silviana. Debajo de estas líneas, los ventrículos cerebrales, entre los que circula el líquido cefalorraquídeo. Los ventrículos permanecen todos ellos unidos entre sí; en particular, el último o cuarto ventrículo está unido a un estrecho canal, el *acueducto de Silvio*.



sarias para la buena coordinación de los movimientos corporales. En realidad, el cerebelo no es el punto de partida de la actividad motora del cuerpo, sino que coordina las acciones de los diversos grupos de músculos para asegurar la precisión y uniformidad de los movimientos de todas las zonas del cuerpo. El cerebelo es también la estación terminal de un fascículo de fibras nerviosas procedentes del oído interno y responsables del equilibrio corporal.

Por encima del bulbo raquídeo, el rombencéfalo se ensancha hacia arriba en una especie de arco que Costanzo Varolio, anatomista y cirujano del Renacimiento, percibió como formando una especie de "puente", de ahí que este autor diese el nombre de puente al órgano que hoy conocemos como *protuberancia anular* o *puente de Varolio*, en honor a su descubridor. El puente de Varolio da origen a numerosos e importantes nervios craneales, entre los que se encuentran los que controlan los movimientos de los músculos faciales, de la musculatura de la masticación y de los músculos de los labios.

El mesencéfalo se encuentra aproximadamente en el centro del cerebro. Es un órgano que contiene núcleos y células nerviosas de vital importancia, así como fascículos de fibras nerviosas que provienen de la corteza cerebral o que transportan información hacia la misma. Entre esas fibras se halla el núcleo del nervio motor ocular común, que regula los movimientos de elevación, descenso y lateralización de los ojos.

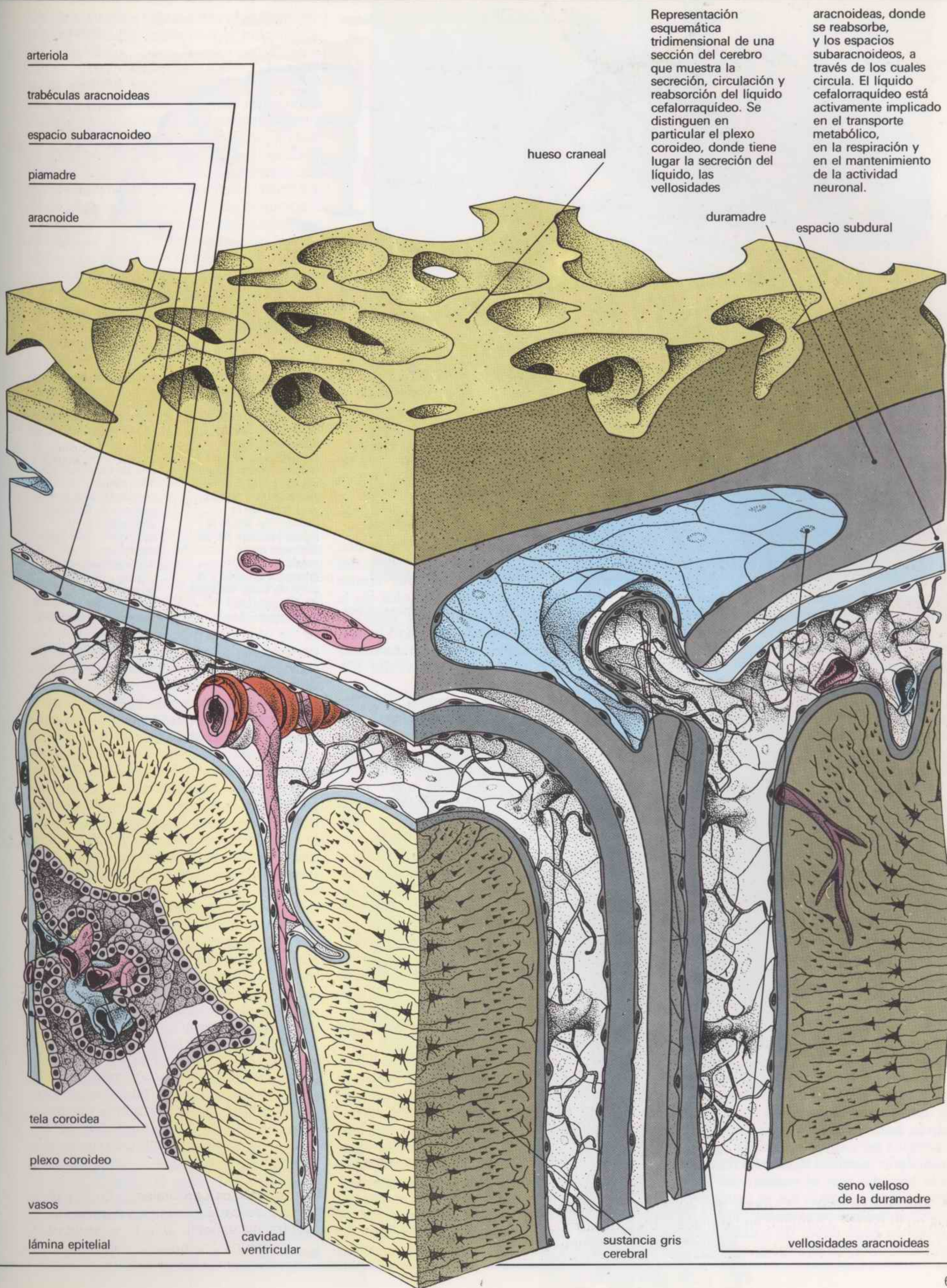
La corteza cerebral Siempre que se piensa en el cerebro humano en términos generales, se le suele imaginar bajo el aspecto que presenta la corteza, es decir, una superficie grisácea recorrida en toda su extensión por pliegues y surcos. Durante siglos esta imagen rugosa del cerebro se ha comparado con la que presentan las nueces, dado que, al igual que sucede en las nueces, el cerebro puede también subdividirse en dos mitades que se unen en algún punto no visible del profundo surco que las separa.

Este surco que divide el cerebro en dos mitades se llama *cisura longitudinal de Rolando*, en honor del anatomista italiano del siglo XVIII que realizó la primera descripción completa del citado surco. Si bien las dos mitades cerebrales son casi siempre denominadas con el término de *hemisferios cerebrales*, éstos se parecen más bien a cuartos de esfera, ya que el cerebro en su totalidad es más o menos igual a una media esfera. La corteza cerebral constituye el 67% del peso total del cerebro y contiene poco más de la mitad de los 10.000 millones de neuronas que están presentes en el sistema nervioso. La corteza cerebral es el lugar de elaboración de las informaciones enviadas al cerebro por los nervios provenientes de los órganos de los sentidos y conducidas por las neuronas aferentes anteriormente mencionadas. La corteza constituye asimismo la estación de partida de las informaciones destinadas a los músculos, a las glándulas y a otros elementos funcionales del cuerpo que en conjunto se denominan *órganos efectores*; la información destinada a esos órganos efectores es conducida a través de las neuronas eferentes o motoras.

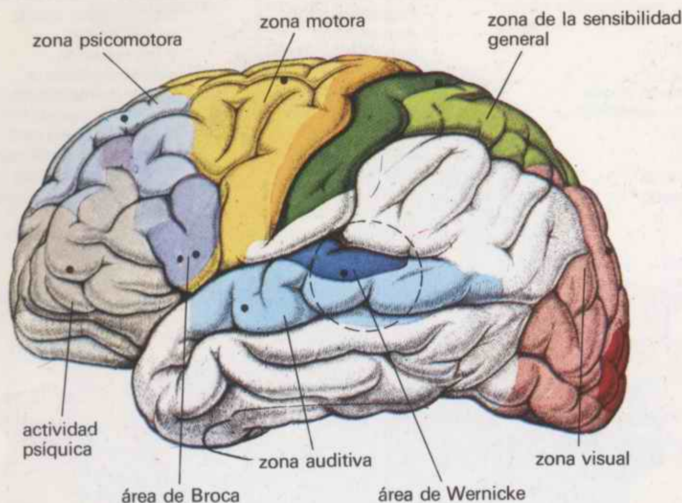
El prosencéfalo, órgano voluminoso y bien desarrollado en el hombre, es la región cerebral que hace al cerebro humano tan distinto en su aspecto y tan enormemente superior, en cuanto a sus funciones, al cerebro de todos los demás animales. Es el que permite al cerebro tener consciencia de sí, y es también el prosencéfalo el que ha hecho posibles a lo largo de los siglos todas las obras de la ciencia, de la literatura, de la música y del arte; todas las realizaciones, en suma, que distinguen al hombre del resto de los animales, menos desarrollados que él.

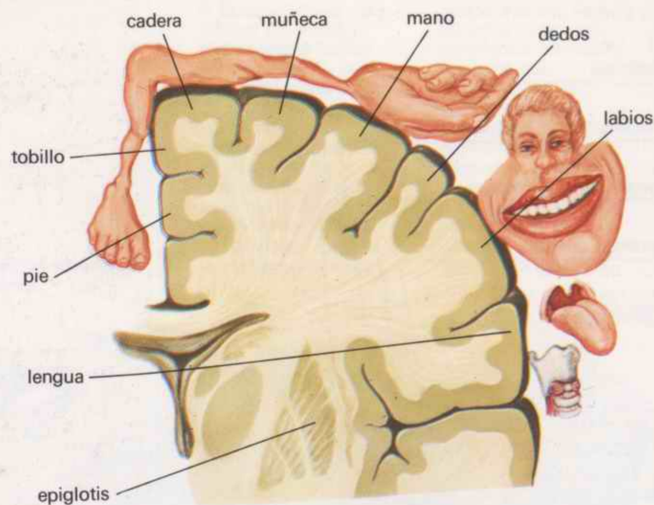
La sustancia gris tiene un espesor de aproximadamente 3,2 milímetros partiendo de la superficie. Por debajo de ella se encuentra una materia blanquecina, llamada *sustancia blanca* cerebral, constituida por millones y millones de fibras nerviosas. La sustancia blanca tiene su típico color a causa de la presencia de la mielina, una sustancia grasa que recubre los nervios, desempeñando un papel de aislante, del mismo modo que sucede en el revestimiento aislante de un cable eléctrico. Numerosas fibras nerviosas se unen para formar una estructura espesa, similar a una cuerda, que une entre sí los dos hemisferios. Este haz de unión se denomina *cuerpo calloso*. Fascículos de fibras análogas, pero de dimensiones menores, establecen contacto entre la corteza cerebral y las diversas regiones del mesencéfalo, rombencéfalo y médula espinal. Es precisamente esta interconexión entre todas las regiones del cerebro la que permite a los distintos órganos cerebrales funcionar tanto separada como sinérgicamente para producir la vida consciente.

Los ventrículos cerebrales En la parte interior de cada hemisferio cerebral se encuentra un espacio abierto o cavidad. Estas cavidades se conocen con el nom-



Representación esquemática tridimensional de una sección del cerebro que muestra la secreción, circulación y reabsorción del líquido cefalorraquídeo. Se distinguen en particular el plexo coroideo, donde tiene lugar la secreción del líquido, las vellosidades aracnoideas, donde se reabsorbe, y los espacios subaracnoideos, a través de los cuales circula. El líquido cefalorraquídeo está activamente implicado en el transporte metabólico, en la respiración y en el mantenimiento de la actividad neuronal.





Arriba, a la izquierda, una representación de las áreas cerebrales implicadas en las distintas actividades vitales, según los hallazgos de la más reciente investigación neurológica. A la derecha, en cambio, podemos ver la proyección sobre la figura humana de las distintas áreas motoras, correspondientes a la zona de color amarillo de la figura de la izquierda. La proyección obtenida de este modo constituye el llamado *homunculus motorius* (homúnculo motor), en el cual las dimensiones de cada una de las partes son directamente proporcionales al número de centros implicados en la activación de la zona específica. Análogamente es posible construir la proyección de un *homunculus sensitivus* (homúnculo sensitivo).

bre de *ventrículos laterales*. Cada uno de los ventrículos cerebrales laterales está unido mediante un canal a un tercer ventrículo, impar y medio. Existe también un cuarto ventrículo, situado en el bulbo raquídeo y unido al tercero. Los ventrículos contienen en su interior un líquido claro, el *líquido cefalorraquídeo*, que llena también los espacios subacnoideos, que separan las membranas protectoras de la piamadre y duramadre tanto en el cerebro como en la médula espinal. Este líquido se parece a la sangre en su papel de transporte al cerebro de sustancias nutritivas y de retirada de los productos de desecho, y tal duplicación de funciones no es sino la manera como el organismo protege al cerebro de la posible contaminación por los productos de desecho transportados por la sangre. El líquido cefalorraquídeo tiene también importancia como medio de atenuación de los golpes, protegiendo así al cerebro de los traumatismos mecánicos.

De fundamental importancia es la circulación sanguínea cerebral. Una amplia red arterial transporta la sangre oxigenada a todas y cada una de las áreas cerebrales. Una característica propia de la circulación cerebral es que, dentro de ciertos límites, el cerebro es capaz de controlar su propio abastecimiento de sangre de modo totalmente independiente de los valores de presión sanguínea que se den en el resto de las regiones corporales. Las zonas encargadas de las actividades intelectuales superiores poseen un flujo sanguíneo particularmente abundante.

Hasta el año 1861 el conocimiento del cerebro humano era extremadamente rudimentario. En el citado año, un médico francés llamado Pierre-Paul Broca demostró que las personas afectadas de afasia, es decir, incapacidad para pronunciar palabras, habían sufrido, casi siempre, traumatismos en una determinada región del hemisferio cerebral izquierdo (zona conocida hoy día con el nombre de *área de Broca*). Este hallazgo fue el primer y más importante paso en el conocimiento de las funciones específicas de cada región cerebral. En 1869, un neurólogo inglés, Hughlings Jackson, formuló la hipótesis de la existencia de una división funcional de la corteza y avanzó que tal división atravesaría ambos hemisferios. Un año más tarde, dos médicos alemanes, Gustav Theodor Fritsh y Eduard Hitzig, confirmaron tal hipótesis en una comunicación que hizo época y que establecía la existencia de localizaciones funcionales en la corteza cerebral de un perro. Estimulando con corrientes eléctricas débiles el área frontal del hemisferio derecho del cerebro del perro, los citados investigadores fueron capaces de provocar movimientos de la pata izquierda del animal; el estímulo opuesto, es decir, el inducido en el hemisferio cerebral izquierdo, provocaba movimientos análogos de la pata derecha.

Areas de la corteza cerebral Desde hace largo tiempo se han realizado grandes progresos en lo que concierne a la comprensión de los mecanismos cerebrales. La corteza cerebral ha sido detalladamente dividida en distintas áreas, pero persisten aún muchos aspectos oscuros que deberán ser posteriormente aclarados. Determinadas áreas del cerebro pueden ser estimuladas mediante sondas eléctricas, produciéndose efectos en distintas zonas del cuerpo; y a la inversa, algunas zonas corporales pueden ser estimuladas, con el consiguiente registro de sus efectos sobre la actividad cerebral. Con frecuencia la actividad cerebral así estimulada es referida a una de las cuatro subdivisiones o lóbulos, que toman su nombre de los huesos craneales destinados a protegerlos: se trata de los lóbulos occipital, temporal, parietal y frontal.

Llegados a este punto, podemos esbozar un breve resumen de las principales funciones de las distintas regiones del cerebro. Los músculos y los órganos sensoriales de la cabeza (ojos, oídos, nariz, lengua) son controlados por la porción inferior del tronco encefálico. El mesencéfalo controla los movimientos de los ojos y algunos movimientos musculares involuntarios o reflejos. El cerebelo, la segunda región del sistema nervioso en cuanto a dimensiones, coordina e integra la actividad de todo el sistema nervioso y es la estructura que confiere uniformidad a la actividad motora del cuerpo.

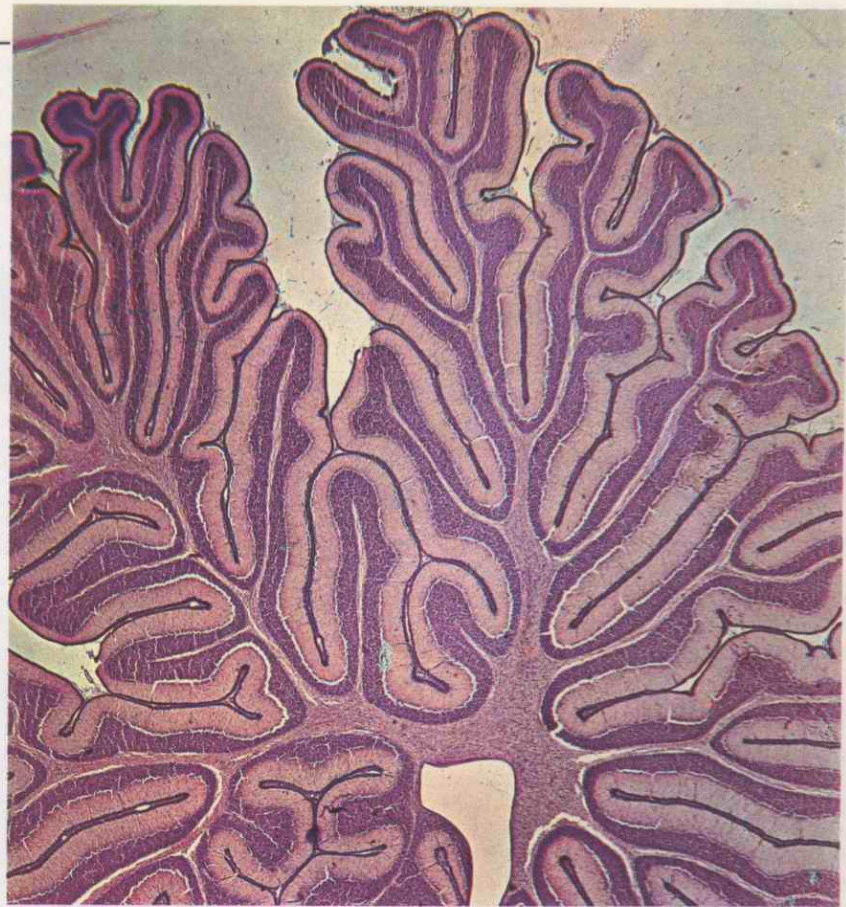
El hipotálamo regula una amplia gama de importantes funciones vitales, entre ellas la actividad sexual, la temperatura corporal, el sueño y el comportamiento agresivo. Este órgano desempeña esas funciones en asociación con la glándula pituitaria o hipófisis y el resto de las glándulas endocrinas. El tálamo está también implicado en la formación de las emociones y en la percepción del dolor, y gobierna las actividades motoras fundamentales.

De los cuatro lóbulos citados anteriormente, el lóbulo occipital es el encargado del reconocimiento de los colores y posee la capacidad de distinguir formas, dimensiones, movimientos y perspectivas de los objetos. El lóbulo temporal es sede del oído y del olfato, del lenguaje y del equilibrio corporal. La función gustativa y la percepción del tacto, así como la sensación del peso y de la forma, son controladas por el lóbulo parietal. El lóbulo frontal, la zona más anterior del cerebro, situado inmediatamente por detrás del hueso frontal del cráneo, constituye el lugar anatómico de algunas de las actividades psíquicas más delicadas y complejas: las emociones, el juicio, la capacidad de razonamiento. En la parte posterior del lóbulo frontal se encuentra una zona conocida como *corteza motora*, responsable de la producción de estímulos conducentes a

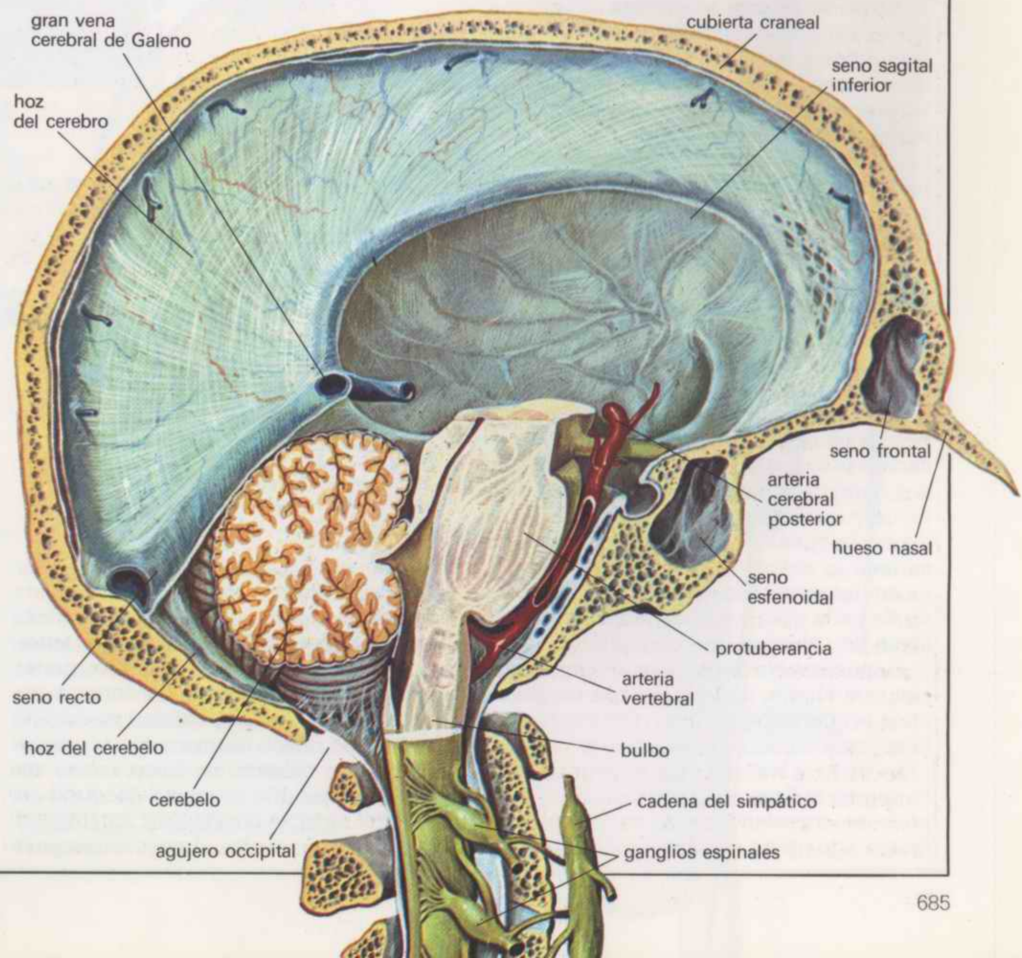
los movimientos (entre ellos algunos complejos, como los relativos a la producción de la palabra).

El cerebro y la conciencia Si existe una función cerebral, entre las numerosas funciones superiores, que pueda ser considerada como parámetro máximo e ideal al mismo tiempo de la actividad cerebral, ésta sería la conciencia. Dar una definición de conciencia es empresa harto difícil, sobre todo cuando se pretende reducirla a términos cuantitativos. Es indudable que la base de las manifestaciones de la conciencia es el sistema nervioso central, y si concretamos tales manifestaciones en la capacidad de escoger incluso contra las tensiones instintivas, y, por tanto, en la capacidad de juzgar y valorar racionalmente, podemos afirmar que cuanto mayor es la presencia del fenómeno conciencia, tanto más complejo es el desarrollo del sistema nervioso central. Pero el tema del que más se ocupa la investigación neurobiológica es la definición del tránsito de la base celular a la manifestación del pensamiento, es decir, el paso de una entidad material a una manifestación que es una forma de abstracción. Sin embargo, dado que la misma palabra *conciencia* es en el fondo una abstracción, los estudios neurobiológicos prefieren afrontar el problema concretando algunas manifestaciones más cuantificables, como la memoria, el aprendizaje y la verbalización. Se ha podido así determinar la estructura de la memoria según cuatro sistemas de archivo de las informaciones: sensorial, primario, secundario y terciario. No obstante, los experimentos para profundizar en los aspectos moleculares de la función mnemónica han proporcionado resultados escasos y contradictorios, debido a la misma dificultad de exponer el problema en términos correctos y determinar si es posible aislar una modificación bioquímica que preceda o acompañe a la descarga neuronal. Sin embargo, los conceptos de "integración" y los nuevos avances proporcionados no solamente por la Neurobiología, sino también por la Psicolingüística, comienzan a perfilar una imagen del cerebro y de su funcionamiento más precisa y más comprensible.

Véase **Nervioso, sistema**



Arriba, sección histológica del cerebelo. En el hombre el cerebelo desempeña una función reguladora de la actividad motora. Una alteración o una destrucción de tejido del cerebelo provocarían, por lo tanto, una grave alteración de la postura y del movimiento. En la imagen histológica se distinguen la sustancia blanca, el estrato molecular, la capa de las células de Purkinje y el estrato granuloso.



En la imagen que aparece a la derecha de estas líneas vemos una sección sagital del cráneo y del primer segmento de la columna vertebral. De la cavidad craneana ha sido extirpado el cerebro, dejando en su lugar solamente el cerebelo y la protuberancia, que a través del bulbo raquídeo se continúa con la medula espinal. Se aprecia el recorrido intracraneal de la arteria basilar, vaso de fundamental importancia para la irrigación del tejido cerebral. Es además claramente manifiesta la posición particularmente protegida del cerebelo, así como sus dimensiones relativamente pequeñas con respecto a la masa encefálica en su conjunto. Se pone también de manifiesto la cadena del nervio simpático en el comienzo de su recorrido.

Cerveza

La fabricación de cerveza se realiza desde hace por lo menos seis milenios. Los antiguos babilonios y sus antepasados fueron los primeros productores de cerveza conocidos, remontándose su actividad a 5.000 años antes de Cristo. Su elaboración era un trabajo artesanal. La cebada que crecía silvestre en algunas zonas de la antigua Mesopotamia se dejaba germinar y se secaba para poder utilizarla en la obtención de la bebida. Los babilonios producían distintos tipos de cerveza y vino de dátil, mientras en Egipto, donde también existía una gran producción de cerveza, los horneros eran los encargados de dirigir las cervecerías, ya que tanto en los hornos como en las fábricas de cerveza se utilizaban grandes cantidades de cereales.

Uno de los más antiguos relatos literarios egipcios habla del faraón Keops, constructor de la gran pirámide, que, habiendo oído hablar de los muchos prodigios realizados por un cierto mago, y una vez que pudo ver algunos trucos de dicho mago, le recompensó con muchas tinas de cerveza. Parece, por lo tanto, que los egipcios apreciaban la cerveza y que generalmente la bebían utilizando una paja para evitar así el tragar algún grano de cebada que hubiese podido quedar. La cerveza se ofrecía como tributo a los dioses y como ofrenda fúnebre en las elaboradas ceremonias egipcias. Se cuenta que el faraón Ramsés II, que gobernó hacia el 1225 a. de C., distribuyó cerca de 2.000.000 de litros de cerveza con ocasión de festividades y celebraciones durante su reinado.

Cómo se fabrica la cerveza Los dos componentes esenciales para producir una cerveza de calidad son buena agua y buenos cereales. La mayor parte de la cerveza se elabora con cebada germinada. La cebada es un cereal que crece en zonas con climas diferentes y en todo tipo de terrenos, de forma que países tan distintos como Inglaterra y Egipto pueden ser famosos por la calidad de este cereal. La cebada se hace germinar antes de utilizarla, siguiendo un proceso que, esquemáticamente, consiste en humedecerla y mantenerla en las condiciones idóneas para que sus granos, cada uno de los cuales es la semilla de una nueva planta de cebada, puedan germinar, brotando de ellos unas pequeñas raíces. Este proceso de germinación provoca una serie de modificaciones químicas en el grano, haciéndolo más dulce y aumentando su contenido en proteínas. Después de que la cebada ha germinado lo suficiente, se deseca y se eliminan las pequeñas raíces que han brotado de cada grano; el grano ya limpio es la malta de cebada.

Generalmente la cebada se suele mezclar con lúpulo, una planta que se utiliza en la preparación de la cerveza para darle su característico sabor amargo.

La malta y los cereales se trituran, para lo que se utilizan grandes rodillos, y después se mezclan con agua, preferentemente agua pura de manantial de montaña (aunque se han producido excelentes cervezas con otros tipos de agua).

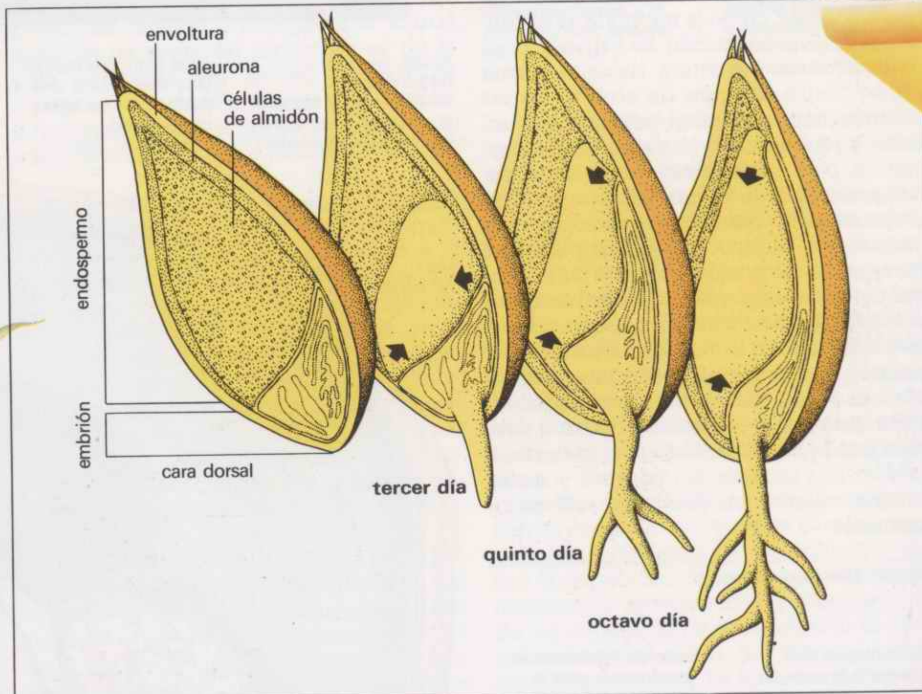
Esta mezcla de agua y cereales se calienta hasta una temperatura de alrededor de 65 °C, no siendo éste un valor fijo, puesto que cada productor aplica temperaturas diferentes según la calidad de la cerveza que se desee obtener.

El líquido caliente se llama *mosto de malta*. Una vez que el mosto de malta se ha estabilizado, se cuece. Este tratamiento condensa y concentra el mosto, que posteriormente se filtra y se enfría. Obviamente, todas las operaciones que se llevan a cabo durante el proceso de elaboración de la cerveza se desarrollan con las mayores garantías de higiene, en tanques limpios hechos de acero y vidrio. Todavía hoy podrían aplicarse los antiguos métodos egipcios que preveían la utilización de tinas de arcilla.

Al mosto de malta enfriado y filtrado se le añade levadura. La levadura, que es el mismo hongo microscópico que se utiliza



Bajo estas líneas, diferentes fases de la germinación de los granos de cebada. El embrión, conservado en un ambiente húmedo, genera un enzima que provoca el ataque del almidón y de las otras reservas. En el centro, proceso de producción de la cerveza: para ablandar la cebada y provocar su germinación, aquélla se remoja en agua siguiendo un proceso que dura alrededor de ocho días. Después se deseca; a partir de aquí la cebada se conoce como *malta*, ya que contiene los enzimas que han de intervenir en las reacciones que convierten el almidón en azúcar maltosa, cuya proporción determina el contenido alcohólico de la cerveza. Después, el mosto resultante se lleva hasta otra cuba, donde se somete a cocción con el lúpulo, deteniéndose así el proceso enzimático. Posteriormente, el mosto se enfría rápidamente en el depósito de refrigeración, produciéndose su fermentación una vez que se ha procedido a "sembrarlo" con la levadura de la cerveza. En la fermentación se produce un exceso de levadura, que se extrae y se reutiliza. Finalmente, la cerveza se filtra y se embotella.



para "levantar" el pan, provoca una serie de reacciones químicas sobre el mosto, dando lugar a la formación de alcohol y dióxido de carbono como productos principales. La cerveza se enfría gradualmente desde una temperatura de cerca de 10 °C hasta 1,6 °C, durante un período de ocho días. Generalmente después se pasteuriza, si bien muchos expertos sostienen que ese procedimiento hoy ya no es necesario. La cerveza pasa por una última operación de filtrado, para "pulirla", es decir, para darle mayor transparencia y luminosidad antes de introducirla en los barriles, botellas o latas.

Tipos especiales de cerveza Los distintos tipos de cerveza existentes en el mercado son resultado de las diferentes variaciones introducidas en el proceso de elaboración: el tipo de agua, la utilización de cebada, lúpulo u otros cereales, las temperaturas a las que se somete el mosto de malta, el grado de filtración, etcétera.

La cerveza rubia (*lager*) es una cerveza fermentada lentamente y almacenada en bodegas refrigeradas; es una de las cervezas más populares en Gran Bretaña, Alemania, España y Estados Unidos, y es a la que generalmente nos referimos cuando hablamos de cerveza. El término "ale", que se usaba como sinónimo de cerveza, se refiere ahora a una bebida clara, fermentada a partir de malta sin tostar. La malta tostada o torrefacta se utiliza para producir cerveza negra muy fuerte, que es un tipo de cerveza más bien pesada y amarga, de color oscuro y aromatizada con una cantidad de lúpulo relativamente alta. Se bebe generalmente en Irlanda y en el Reino Unido, junto a una versión más ligera, la "porter", que contiene menos del 4% de alcohol.

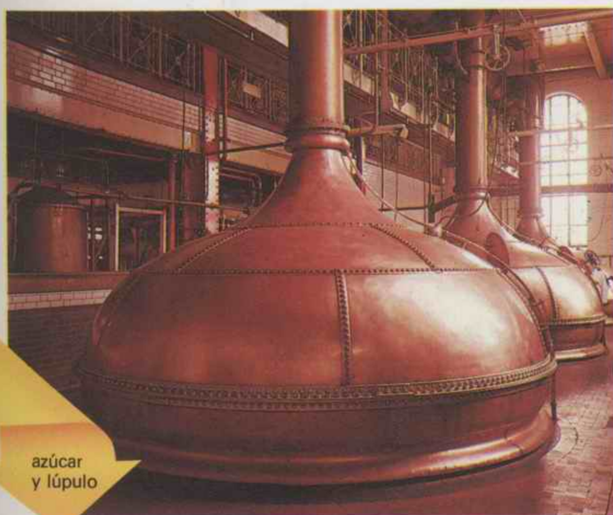
Entre las fábricas de cervezas más famosas del mundo están la Burton-on-Trent en Londres, de Inglaterra; la Pilsen, checoslovaca; las de Mónaco y las de Dortmund y Hamburgo en Alemania. Irlanda, Holanda, Canadá y Australia tienen también importantes fábricas de cerveza, así como otras naciones, entre las que está España, que posee una industria capaz de producir una bebida de óptima calidad.

Se puede decir que la cerveza, siempre que se ingiera en cantidades moderadas, es una bebida saludable. De hecho, quita muy bien la sed, y muchos tipos de cerveza tienen un gran valor nutritivo. La *Guiness*, una cerveza negra muy fuerte y densa, típica de Irlanda, se prescribe muchas veces como complemento de la alimentación de las madres durante la lactancia, por su alto contenido en sales minerales y glúcidos.

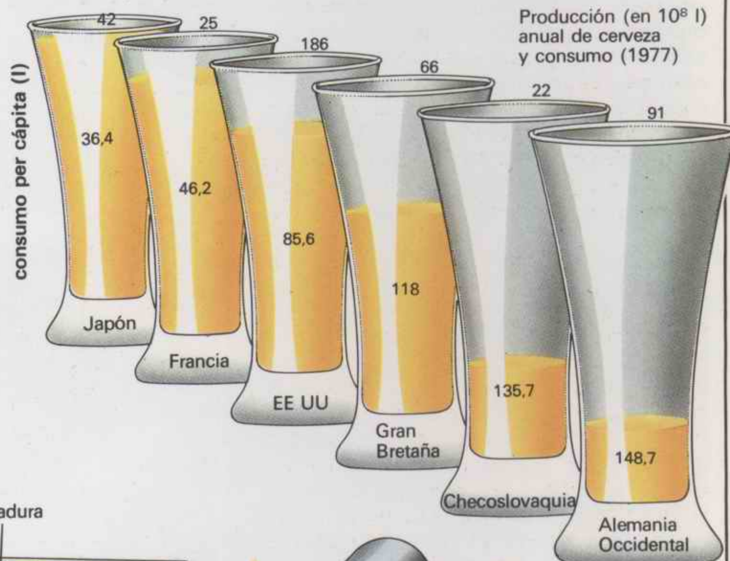
Composición media y valor calórico de cervezas según diferentes grados de fabricación y de atenuación*

grados sacarométricos (%)		10	13	16
grado de fermentación real (%)	80	60	60	60
alcohol (g)	2,10	3,03	3,98	4,93
valor calórico (Cal)	25,8	37,2	48,8	60,05

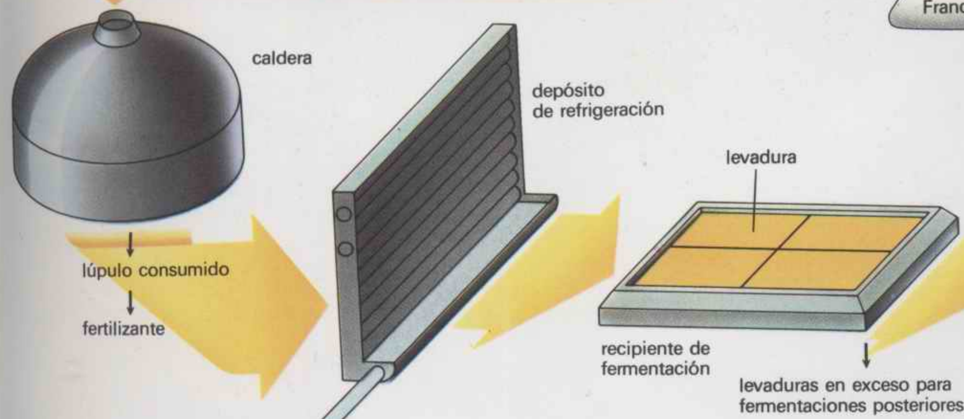
* por 100 g de cerveza



Cervecería Bas and Mitchell-Capehill-Birmingham



Arriba, una tabla que muestra las características de diferentes cervezas, que pueden ser muy distintas en cuanto a su contenido alcohólico y calórico. En la foto de la izquierda, una gran cuba de fermentación en una batería múltiple. Lejos de ser una labor artesanal como en otras épocas, la elaboración de cerveza es hoy una actividad modernamente tecnificada. Abajo, producción y consumo de cerveza en varios países.





Véase **Alcohol, consumo de; Cereales; Fermentación**

Cetáceos

Los cetáceos son mamíferos acuáticos eminentemente marinos, aunque existen algunas especies fluviales que viven en los cursos de grandes ríos. Para llevar este tipo de vida, su morfología y estructura interna se han modificado profundamente, difiriendo del resto de los mamíferos, aunque siguen teniendo sangre caliente, respiración pulmonar y glándulas mamarias. El cuerpo es alargado, pisciforme, habiendo desaparecido por completo el cuello. La cola está sustituida por una aleta caudal que, a diferencia de los peces, está extendida en el plano horizontal, de forma que le facilita el desplazamiento vertical en el agua para subir a respirar a la superficie. Sólo existen las extremidades pectorales, que están completamente modificadas y transformadas en aletas. Estas, junto con la aleta dorsal que se presenta en algunas especies, actúan como órganos estabilizadores y direccionales, mientras que la caudal es el órgano propulsor.

La piel está desprovista de pelos, no hay orejas, y las mamas son ventrales y en número de un solo par. El apéndice nasal, inútil como órgano olfatorio, se abre en la parte superior de la cabeza en forma de uno o dos orificios conocidos como *espiráculos*, facilitando la respiración de estos animales, que así sólo tienen que asomar la parte cefálica superior en la que

Los Mistacocetos, grupo al que pertenece la mayoría de los grandes cetáceos, tienen dos espiráculos en la cabeza. La boca está provista de láminas córneas que sirven para filtrar el alimento, formado principalmente por crustáceos del plancton.

Los Odontocetos (a la derecha) tienen un solo espiráculo y la boca provista de dientes cuyo número varía entre 2 y 272, según las especies.

están dichas aberturas. Esta forma hidrodinámica ofrece poca resistencia al agua, por lo que pueden alcanzar velocidades tan altas como 65 km/hora.

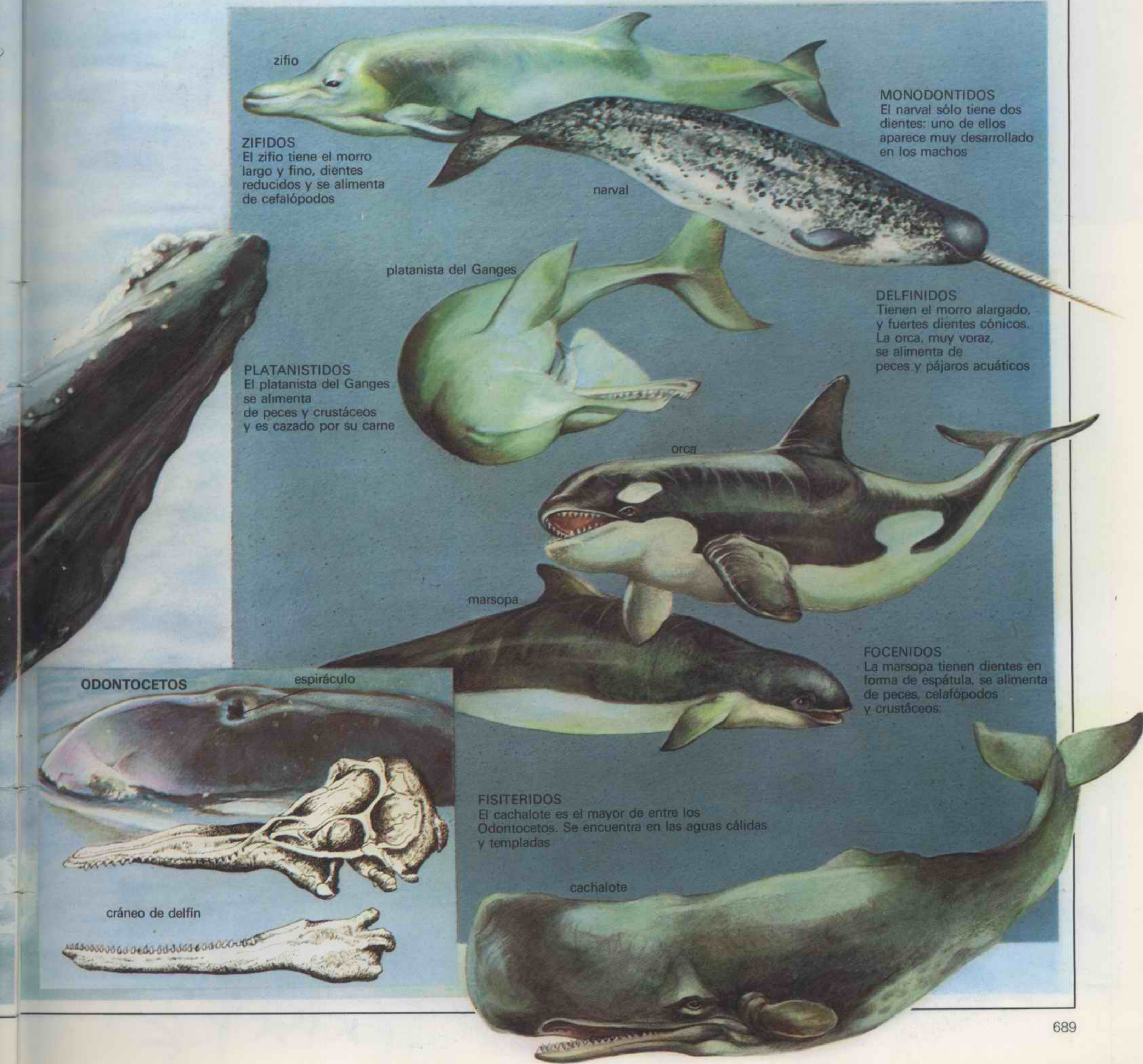
Los sistemas respiratorio y circulatorio presentan numerosas modificaciones que permiten, en muchos casos, la permanencia en el agua durante más de una hora sin salir a respirar; los cachalotes, por ejemplo, pueden sumergirse hasta una profundidad de 1.000 metros y permanecer bajo el agua hasta 90 minutos. No mastican la comida, por lo que tienen un estómago con varios compartimentos para la digestión.

Según las más evidentes pruebas disponibles, los Cetáceos aparecieron hace casi 70 millones de años. Una especie, *la ballena azul* o *rorcual azul*, es el animal más grande conocido, pudiendo llegar a alcanzar más de 30 m de largo y un peso superior a las 150 toneladas.

El orden de los Cetáceos se divide en dos grupos (o subórdenes): los que tienen dientes en su estado adulto (*Odontocetos*), y los que tienen barbas (*Mistacocetos*).

Existen unas 70 especies de Odontocetos, entre las cuales están la marsopa (*Phocaena phocaena*), los delfines (varias especies), la orca común (*Orcinus orca*), el calderón (*Globicephala melaena*), y el cachalote común (*Physeter catodon*). Son carnívoros: predadores que agarran la presa con los dientes y la engullen; en particular el cachalote es conocido porque se alimenta de calamares gigantes.

Los Mistacocetos comprenden varias especies, conocidas en general con el nombre de *ballenas*. En sustitución de la dentadura presentan una serie de láminas córneas o barbas, implantadas en el paladar y que cuelgan en la cavidad bucal. Esas láminas les sirven de filtro para acumular la comida, que consiste esencialmente en zooplancton y pequeños peces; el denominado *krill*, que comen en los mares fríos, está integrado principalmente por un crustáceo que alcanza hasta 2,5 cm, *Euphasia superba*. Para comer, estos animales "aspiran" enormes bocanadas de agua que expulsan luego, quedando el ali-





Piero di Gregorio

El cachalote (al lado) presenta una cabeza voluminosa, que contiene una grasa muy apreciada conocida como *esperma*.
Los cachalotes se encuentran en la cúspide de la cadena alimentaria marina de aguas abiertas: se alimentan de grandes cefalópodos, que a su vez son predadores de peces pelágicos (clupeiformes). Estos a su vez se alimentan de pequeños crustáceos planctónicos como los cefalópodos, que comen fitoplancton. A cada paso de esta cadena corresponden grandes aumentos en el peso de los individuos.

La ballena xibarte (abajo) ejecuta grandes saltos fuera del agua.



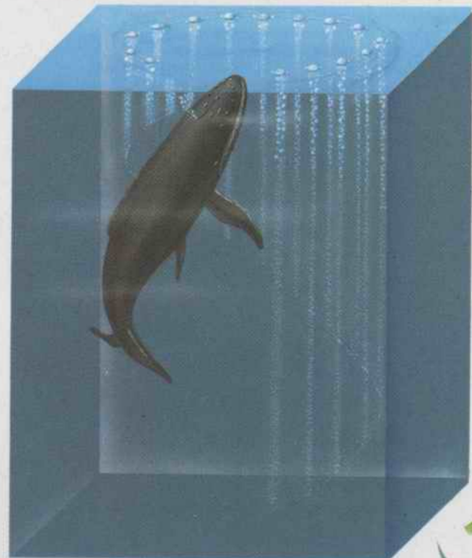
Al Giddings/Sea Films Inc

mento retenido en las láminas; más tarde es recogido con un golpe de la enorme lengua y tragado.

Dentro de los Mistacocetos podemos distinguir un grupo, caracterizado por tener las láminas cortas y anchas, la piel de la garganta surcada por profundos pliegues longitudinales y una aleta dorsal; son los *rorcuales*, como la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), la ballena xibarte (*Megaptera novaeangliae*) y el rorcual boreal (*Balaenoptera borealis*) Relacionadas con este grupo están las *ballenas grises*, que se diferencian por carecer de aleta dorsal, por ejemplo la ballena gris de California (*Rhachianectes glaucus*). El último grupo, caracterizado por tener la piel de la garganta lisa y las láminas largas y estrechas, son las *auténticas ballenas*: la ballena franca (*Balaena mysticetus*), la ballena austral (*Balaena australis*) y la ballena negra (*Balaena glacialis*).

Un tercer grupo de Cetáceos, los Zeugodóntidos (o Arqueocetos), se extinguió hace millones de años. Se han encontrado restos de los mismos, como cráneos con mandíbulas dentadas y esqueletos que vagamente se parecen a los de los Reptiles. Algunos presentan córneas poligonales que forman una fuerte coraza externa.

Todos los Cetáceos revelan una sofisticada sensibilidad acústica. Los Odontocetos son capaces de *ecolocalizar* ,es decir, orientarse por los ecos de los sonidos secos que emiten con elevada intensidad. Las ballenas tienen un oído agudo muy desarrollado, y parecen oír estos sonidos secos haciendo pasar las ondas sonoras a través de los huesos de la mandíbula y la garganta hasta el oído interno. Los sonidos de baja intensidad —a menudo descritos como maullidos, notas, llantos, chillidos, silbidos o ladridos— sirven como reclamo para el grupo. Parece que las marsopas son los Cetáceos dotados de mayor sensibilidad acústica; pueden distinguir entre varios tipos de metal con sólo la ecolocalización, y algunos ejemplares han intentado imitar, en cautividad, las voces humanas.



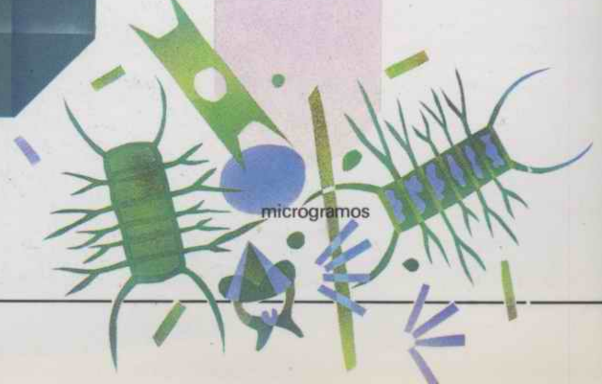
La ballena xibarte puede capturar pequeños crustáceos produciendo una intensa red de burbujas de aire que los hace subir, concentrándolos.

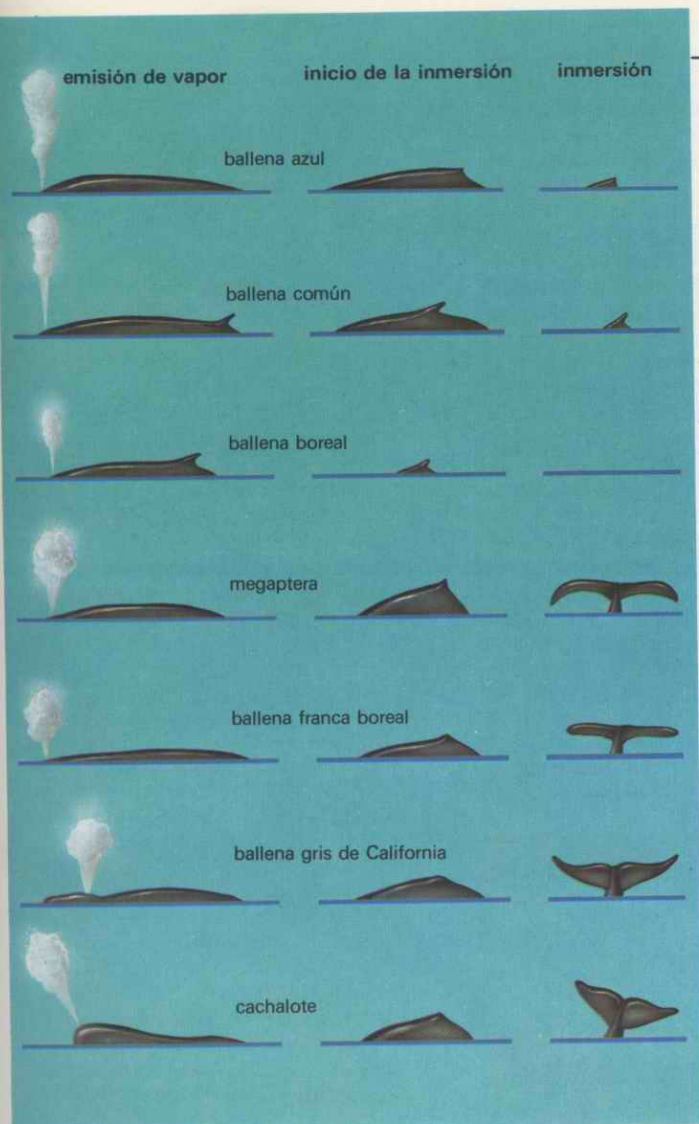












Las diferentes especies de Cetáceos son comúnmente divisadas por los navegantes, que las reconocen con relativa facilidad mediante la observación de algunas particularidades, como muestra el esquema: las formas y dimensiones del chorro de vapor que es expulsado por los espiráculos después de cada inmersión, el perfil del dorso tal como se presenta al comienzo de la inmersión y, por último, la forma de la cola, si ésta es visible, en el proceso de inmersión. Para dar algunos ejemplos, las auténticas ballenas no tienen relieves en el dorso, mientras que los balenoptéridos (rorcuales) presentan una aleta dorsal. En la foto de abajo a la izquierda, un ejemplar de orca común (*Orcinus orca*). Esta puede realizar verdaderos saltos que la hacen sobresalir casi completamente de la superficie del agua.

Los Cetáceos tienen una compleja estructura social. Los Mistacocetos tienden a vivir aislados o en pequeños grupos, mientras que los Odontocetos tienden a unirse a los grupos en el seno de los cuales han nacido; estos grupos están organizados en jerarquías, en general dominadas por grandes ejemplares machos. Todos los Cetáceos tienen un comportamiento epimeléptico, lo que quiere decir que intentan ayudar a un miembro del grupo que esté enfermo o herido, antes de abandonarle.

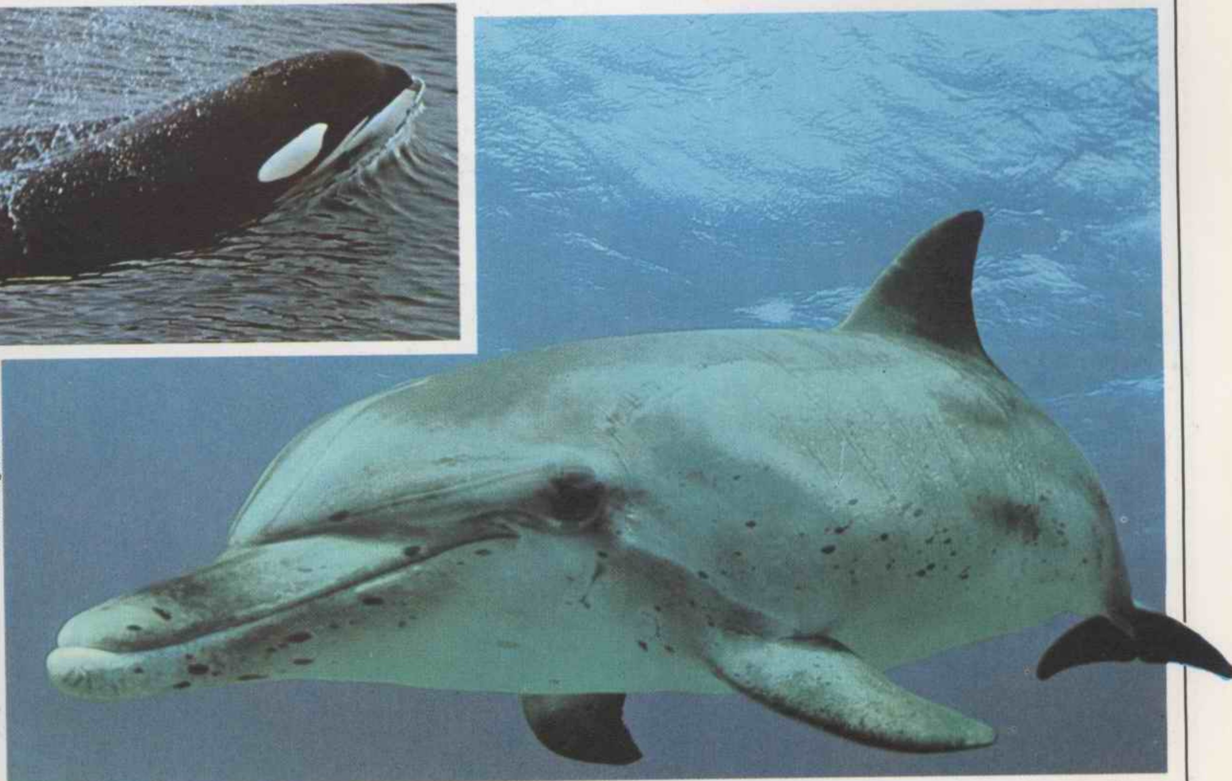
La reproducción es anual para las especies dentadas, y bienal para las barbadas. La hembra pare una sola cría de cada parto, después de un período de gestación de 10 a 16 meses; la hace nacer en inmersión, pero inmediatamente la saca a la superficie a que tome aire. La cría sigue a la madre, que la alimenta con leche. La relación entre ambas dura mucho tiempo.

Puesto que las zonas principales de alimentación se encuentran en las regiones polares, las ballenas efectúan largas migraciones periódicas —en algunos casos, de hasta más de 11.000 km entre ida y vuelta— para parir en zonas templadas.

Las ballenas, los rorcuales y los cachalotes han sido capturados por el hombre desde tiempos muy remotos para la obtención de diversos productos derivados de los mismos, especialmente grasas y aceites. La pesca excesiva, facilitada por los modernos métodos, ha puesto en peligro la supervivencia de estos animales, por lo que han tenido que dictarse normas de regulación de captura, que desgraciadamente no son siempre respetadas por todos los países.

Véase **Ballena**





Al Giddings/Sea Films Inc

Los delfines mulares (*Tursiops truncatus*), a la derecha, al igual que otros delfines, pueden ser vistos con frecuencia formando bancos bastante numerosos y dando saltos fuera del agua. Cuando nada, el delfín mular sube a la superficie para respirar una o dos veces por minuto.

Cibernética

La Cibernética, es decir, el estudio de los sistemas de comunicación y de control, es una ciencia que engloba muchas disciplinas diferentes y revela los principios y mecanismos comunes a muchas cosas. En particular, se ocupa del parecido existente entre los mecanismos de control y de comunicación de los seres vivos (incluido el hombre) y los sistemas de control automático diseñados para las máquinas y los procesos de fabricación.

El término *cibernética* deriva de la palabra griega *"kibernetes"*, que significa "guiar un barco", o también el hombre que gobierna el timón, el piloto o timonel. Era el título de un libro publicado en 1948 por Norbert Wiener, que auguraba unos fructíferos resultados a una ciencia que estudiase las relaciones entre los sistemas naturales y los artificiales.

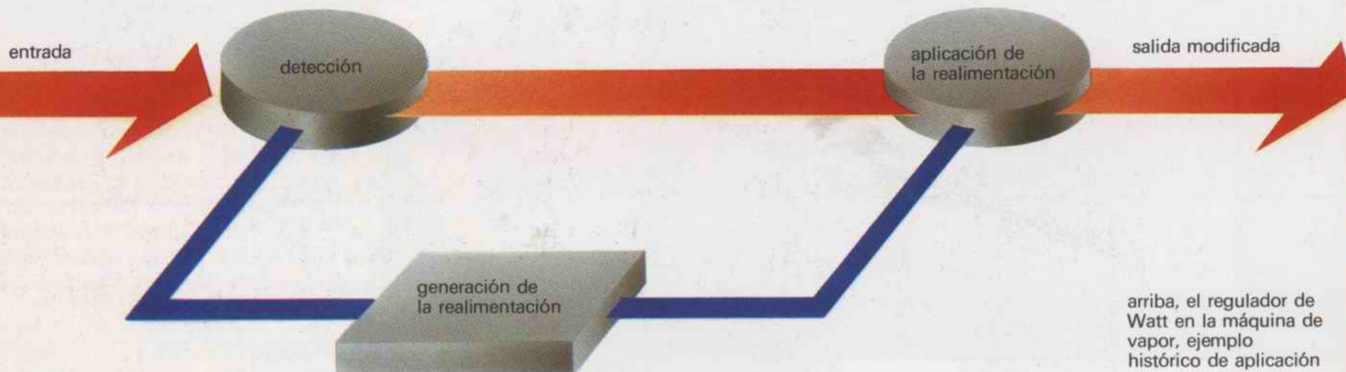
Como la Cibernética reúne distintos campos de estudio, la definición que de ella se da varía según sean los intereses principales de la persona que utiliza el término y según los aspectos que se desarrollan de la teoría cibernética.

demos encontrar en la forma en que se adecúan las organizaciones comerciales a las condiciones económicas o de mercado y en los procesos industriales automatizados.

Automatización El desarrollo de las computadoras, tanto digitales como analógicas, ha incrementado en gran medida la capacidad de la máquina para desarrollar algunas de las funciones que antes sólo podían ejecutar operadores humanos. El desarrollo de capacidades siempre mayores en dichas maquinarias —un estudio estrechamente unido al campo tecnológico más general de la automatización— es uno de los principales objetivos de la Cibernética.

Además, también es posible simular los mecanismos según los cuales opera el cerebro humano y desarrollar una máquina que "demuestre inteligencia". Sin embargo, la opinión más generalizada es que la forma según la cual trabaja una computadora se parece poquísimo a la forma de operar de nuestro cerebro. La diferencia principal reside en el hecho de que la máquina manifiesta su capacidad máxima desarrollando cometidos simples y repetitivos, cosa que puede hacer de una forma altamente satisfactoria. Por lo tanto, es ideal para tratar algoritmos, es decir, los procesos definidos con precisión como secuencias de operaciones.

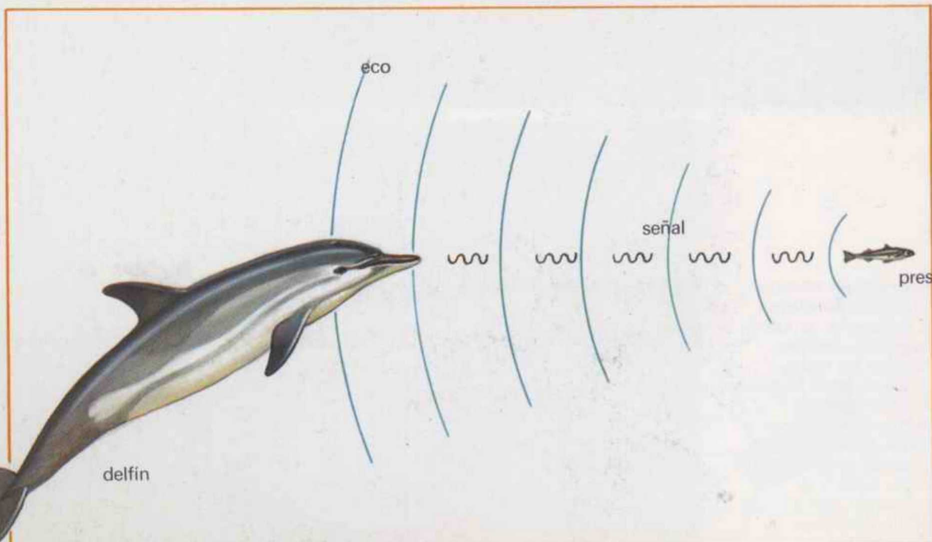
En cambio, la mente humana es apta para situaciones reales sin una estructura prefijada, donde las decisiones que hay que tomar raramente son unívocas y bien definidas. Como consecuencia, lo que generalmente hace la mente humana es actuar en base a conjeturas, que normalmente son el resultado de un proceso mental muy difícil de definir, pero que se puede decir que toma en consideración simultáneamente aspectos procedentes de muchas fuentes: los datos sensoriales, la experiencia, las informaciones adquiridas muchos años antes y nunca más utilizadas, los presentimientos y los deseos. Todavía estamos muy lejos de alcanzar un conocimiento completo de la forma en que ese maravilloso instrumento que es el cerebro



Realimentación o "feedback" Un elemento, que por acuerdo general se dice que pertenece al estudio de la Cibernética, es el sistema de lazo cerrado de realimentación (*closed loop feedback*), que se refiere a una máquina u organismo que usa las informaciones obtenidas, a partir de los resultados de cualquier proceso bajo su control directo, para modificar su propia actividad. El lazo de realimentación entre un termostato y un aparato de calefacción es un ejemplo obvio. En palabras de Norbert Wiener: "realimentación" es una forma de controlar un sistema o proceso reinsertando en el mismo los resultados de su propia evolución.

En el campo del comportamiento humano, un buen ejemplo de realimentación es el acto de coger un pequeño objeto con la mano. Esa acción es tan común que nos parece banal; sin embargo, es extremadamente compleja y requiere una realimentación continua, o sea, regulación de los movimientos del brazo, de la mano y de los dedos por parte del sistema nervioso y bajo el control del cerebro. Este, a su vez, se guía por la interpretación que él da de las informaciones recibidas a través de los ojos y del sentido del tacto. Otros ejemplos de realimentación los po-

Aunque el concepto de Cibernética es muy amplio, el esquema dibujado sobre estas líneas ilustra un principio válido para todas las aplicaciones. La flecha de la izquierda representa el estímulo. Dicho estímulo lo recibe un órgano de decisión, que analiza sus características basándose en ciertos criterios bien determinados y manda sus conclusiones al órgano encargado de ejecutar la estrategia decidida. Debajo, una aplicación al mundo animal: un delfín envía ondas ultrasónicas y, valiéndose del eco, localiza la presa y puede decidir cómo orientar su trayectoria para capturarla.
En la página siguiente, arriba, el regulador de Watt en la máquina de vapor, ejemplo histórico de aplicación cibernética. Debajo, la formulación de estrategias empresariales es un ejemplo de aplicación cibernética a fenómenos de tipo no mecánico, como son precisamente los inherentes a la dinámica de mercados.



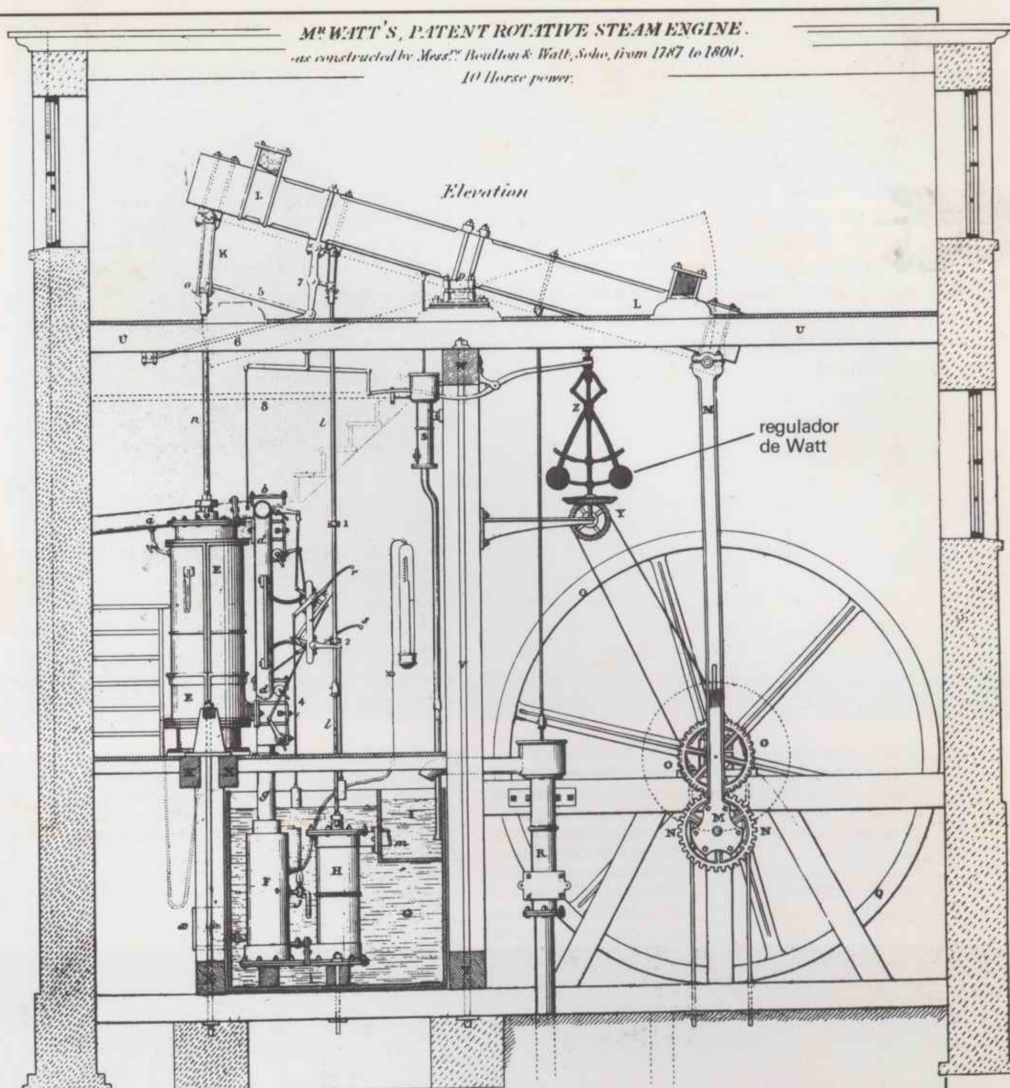
humano hace todo esto, aunque los científicos han creado programas para las computadoras que intentan imitar los procesos decisorios de los seres humanos.

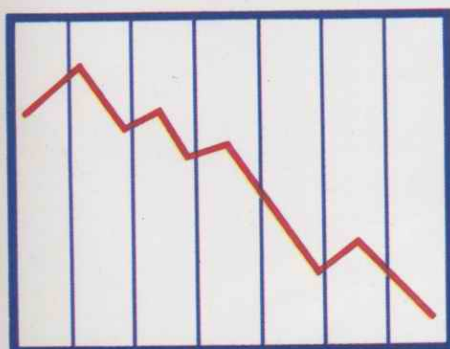
Otros campos Entre los otros temas de los que se ocupa la Cibernética están la homeoestasis y la entropía. La *homeoestasis* es la capacidad que tiene un ser vivo de mantener su equilibrio interno. Un ejemplo natural es la capacidad que el cuerpo humano tiene de mantener constante su temperatura interna automáticamente, sin una intervención consciente. Ese proceso es tan natural que no nos damos cuenta de su funcionamiento aunque esté en acción durante las 24 horas de cada día. Por el contrario, la *entropía* es la tendencia que tienen los sistemas a agotarse espontáneamente, o a alcanzar un estado de mayor desorden, tal como un reloj en marcha que se para con el paso del tiempo o una tacita de café hirviendo que tiende a alcanzar la temperatura ambiente.

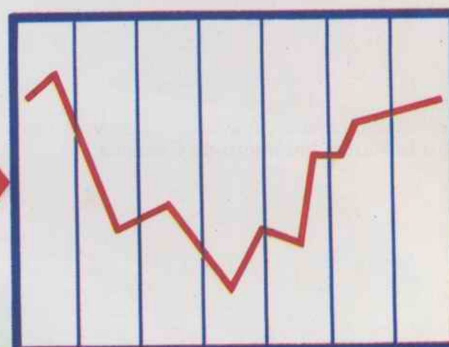
El hecho más interesante referente a la entropía, desde el punto de vista de la Cibernética, es la capacidad de los organismos vivos de oponerse a la tendencia del aumento del desorden a través de una combinación de procesos biológicos, entre los que están el metabolismo, el crecimiento, la reproducción y la adaptación.

La Cibernética se ocupa también de intentar comprender los mecanismos que actúan en el reconocimiento de los modelos, de la naturaleza de la percepción, del significado del conocimiento y de la comprensión; además, estudia la posibilidad de desarrollar máquinas capaces de formar conceptos e hipótesis, de pensar, de proyectar y de usar el lenguaje.

Véase **Automatización; Cerebro; Ordenador**







Ciclón tropical

En Meteorología, el término *ciclón* se utiliza para designar cualquier sistema de vientos que fluye alrededor de un centro de bajas presiones, aunque para el hombre de la calle se suele identificar acertadamente con espectaculares demostraciones de la fuerza de la Naturaleza, y se asocia con lluvias torrenciales y vientos devastadores que asolan determinadas zonas tropicales del planeta.

El huracán, tifón o ciclón tropical es un gigantesco sistema tormentoso que se puede extender sobre un área de 600 km de diámetro, con vientos de gran intensidad (para que una tempestad sea clasificada como ciclón, la velocidad del viento debe ser superior a los 120 km por hora) y enormes bancos de nubes que producen las lluvias más intensas que se conocen sobre la Tierra. Paradójicamente, el centro de la espiral —el "ojo" de la tempestad— es una pequeña zona, casi circular, de un tamaño comprendido entre los 15 y los 40 km de diámetro, de suaves vientos y cielo casi sin nubes, donde se registran valores bajísimos de la presión atmosférica. El tiempo que acompaña a un ciclón tropical se caracteriza por la intensidad de los vientos, que pueden alcanzar hasta los 300 km por hora, y las lluvias torrenciales, que descargan cantidades de agua superiores a los 200 litros por m^2 y día sobre toda su área de influencia, aunque se han dado casos de precipitaciones superiores a los 1.000 litros por m^2 en un solo día.

En su origen, un ciclón es una depresión semejante a las que barren Europa procedentes del Atlántico. Para convertirse en un huracán se necesitan dos requisitos fundamentales: calor y humedad, esto hace que su formación sólo sea posible en los mares tropicales, sobre dos amplias franjas comprendidas entre los 5 y los 20 grados de latitud en ambos hemisferios, y donde la temperatura del agua del mar es superior a los 27 °C. Por esta razón, los ciclones plenamente desarrollados tienen lugar principalmente en los océanos Atlántico occidental, Pacífico e Indico y en los períodos de finales de verano y en otoño, épocas en que la temperatura del agua alcanza sus valores más elevados.

Nacimiento y muerte de un ciclón No se conoce todavía cuáles son las condiciones y mecanismos que hacen que una depresión que aparentemente no se diferencia en nada de las otras se convierta en un ciclón tropical. Según parece, está relacionado con la coincidencia de la formación a nivel del mar de una zona de bajas presiones junto a una situación de divergencia en altura, comportándose el conjunto como un gigantesco aspirador que succiona el aire de capas inferiores, hace descender la presión y obliga a nuevos aportes de aire cargado de humedad a nivel del mar. Este, por la acción de la *fuerza de Coriolis*, comienza a girar en una espiral ascendente. Durante el ascenso, el calor desprendido en la condensación del vapor de agua aumenta la temperatura y, por consiguiente, la inestabilidad del aire que le circunda, favoreciendo de este modo los movimientos ascendentes que mantienen el proceso. Muchos ciclones no llegan a la madurez y permanecen en este estado inicial hasta extinguirse, o viajan grandes distancias sin llegar a desarrollarse. Pero una pequeña parte —aproxima-

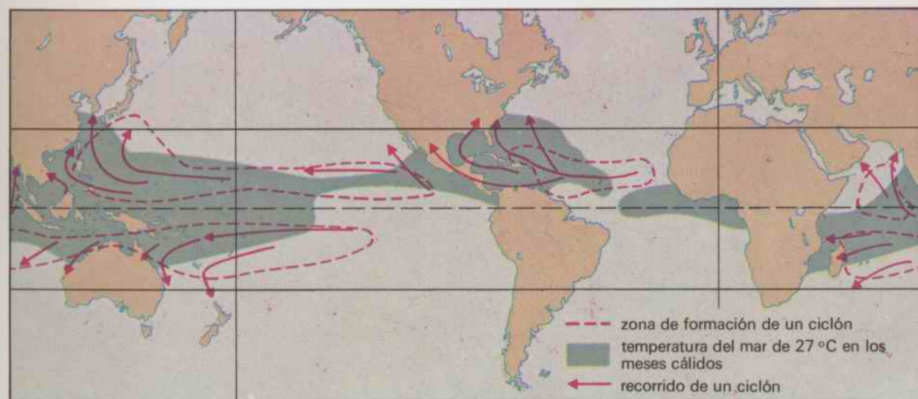
Abajo, corte transversal de un ciclón. En su origen, es una depresión semejante a muchas otras, pero por razones hasta ahora desconocidas, y entre las que juegan un papel fundamental la elevada temperatura del agua y la humedad reinante, tiene lugar un mecanismo disparador que inicia los desplazamientos verticales de aire a través de la troposfera. En este proceso, la energía almacenada por el vapor de agua en forma de calor latente de condensación es cedida al aire, contribuyendo a aumentar su temperatura y, por tanto, favoreciendo los movimientos ascendentes. Mientras, en la superficie del mar masas de aire cargado de humedad se precipitan hacia el centro del ciclón para reemplazar al que acaba de elevarse. Por el centro del ciclón —el "ojo" de la tempestad— desciende lentamente una corriente de aire cálido y húmedo. El tiempo que acompaña a un ciclón se caracteriza por lluvias torrenciales y fuertes vientos.



damente 50 al año— continúan su crecimiento, la presión disminuye rápidamente en una pequeña zona circular y se forma el llamado "ojo" de la tormenta, alrededor del cual los vientos en espiral adquieren velocidades crecientes, aportando sucesivas cantidades de aire húmedo que, al elevarse, forma una pared de nubes de tipo cumulonimbo, en forma de anillo, responsables de las intensísimas precipitaciones que tienen lugar. El aire, al alcanzar las proximidades de la tropopausa, se aleja radialmente, mientras una corriente suave de aire cálido y húmedo desciende a través del ojo del ciclón. El calor asociado al estado del agua hace que la máquina energética del proceso ciclónico se autoalimente.

La trayectoria y velocidad con que se desplaza un ciclón son muy variables, pero pueden alcanzar los 30 km por hora. Si en su movimiento sobrepasa los 20 grados de latitud, lo normal es que, al encontrar aguas más frías, a la vez que su intensidad disminuye extienda su área de influencia. El paso de mar a tierra suele ser el principio del fin: el aire que fluye en su


USA Navy



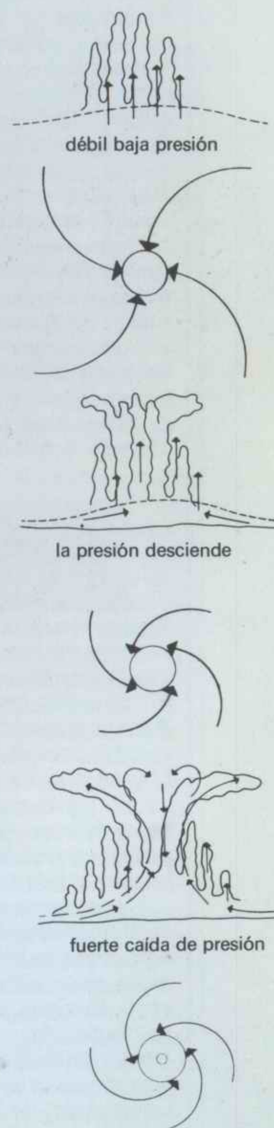
base ya no es tan húmedo y, al perder su fuente de energía, la velocidad del viento disminuye; y, aunque aumentan las precipitaciones, el ciclón se va debilitando progresivamente hasta morir o convertirse en una borrasca típica de latitudes medias.

Siguiendo el rastro de un ciclón Cuando un ciclón alcanza la costa y penetra en el interior, deja tras de sí un rastro de destrucción; cosechas perdidas, embarcaciones, viviendas y servicios públicos dañados, fábricas y maquinaria destruidas y la lamentable pérdida de vidas humanas son el resultado de este devastador fenómeno meteorológico. Aunque desde la década de los sesenta se han iniciado proyectos para desviar o reducir la fuerza de los ciclones, hasta el momento no existe ninguna técnica que modifique con éxito su movimiento y la intensidad de sus vientos. Todo lo que se puede hacer es predecir lo más exactamente posible su llegada y tomar precauciones para paliar al máximo sus efectos. Para ello, los satélites meteorológicos barren continuamente la superficie del mar informando de las condiciones favorables para la formación de una tormenta tropical apenas se producen, y observando las distintas fases de su evolución. Con ayuda de estos datos, diversos centros de investigación meteorológica evalúan las posibilidades de su desarrollo hasta convertirse en ciclón. Una vez que se ha formado, es objeto de una atención constante para detectar los más pequeños cambios en su trayectoria. Como resultado de este trabajo se emiten alertas generales que informan sobre su posición en cada momento, previniendo a las posibles poblaciones afectadas, que pueden, de este modo, tomar las medidas oportunas.

Es muy posible que en los próximos años se establezcan —con la cooperación de todos los países afectados— programas para la realización de ambiciosos proyectos de "siembras" químicas en los ciclones, con las que se logre el control o al menos un debilitamiento de estas peligrosas tormentas.

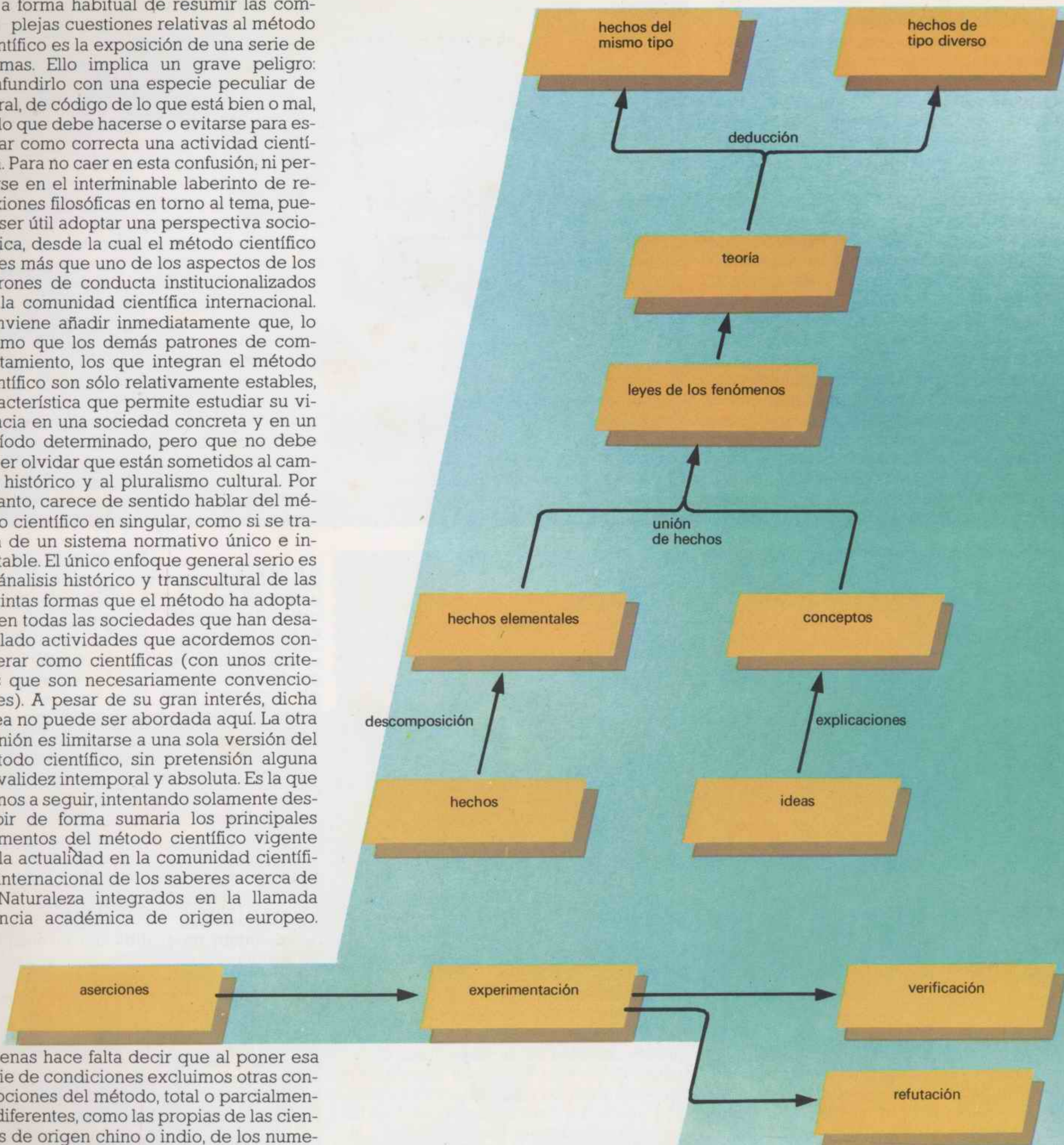
Véase **Clima; Tiempo atmosférico; Tormenta; Tornado**

A la derecha, esquema del proceso de formación de un ciclón. La coincidencia de varias situaciones atmosféricas favorece la rápida ascensión de grandes cantidades de aire, produciendo sobre la superficie del mar un descenso de la presión, que obliga a una convergencia, sobre ese lugar, de aire cargado de humedad que, por efecto de la fuerza de Coriolis, inicia un movimiento de giro en una espiral ascendente (1). El aumento de la inestabilidad del aire favorece la formación de cumulonimbos de gran desarrollo vertical (2). Las corrientes ascendentes se hacen más violentas, los vientos adquieren velocidades crecientes y se produce un fuerte descenso de la presión. Una corriente de aire cálido y húmedo desciende por el centro del ciclón (3). Los requisitos básicos para la formación de un ciclón son el calor y la humedad, motivo por el cual su desarrollo sólo es posible en los mares calientes de latitudes tropicales. A la izquierda, el mapa muestra las regiones donde la formación de ciclones es más frecuente; la fotografía superior, tomada desde un avión, es un elocuente testimonio de las enormes fuerzas que se ponen en juego en la formación de un ciclón.



Ciencia y método científico

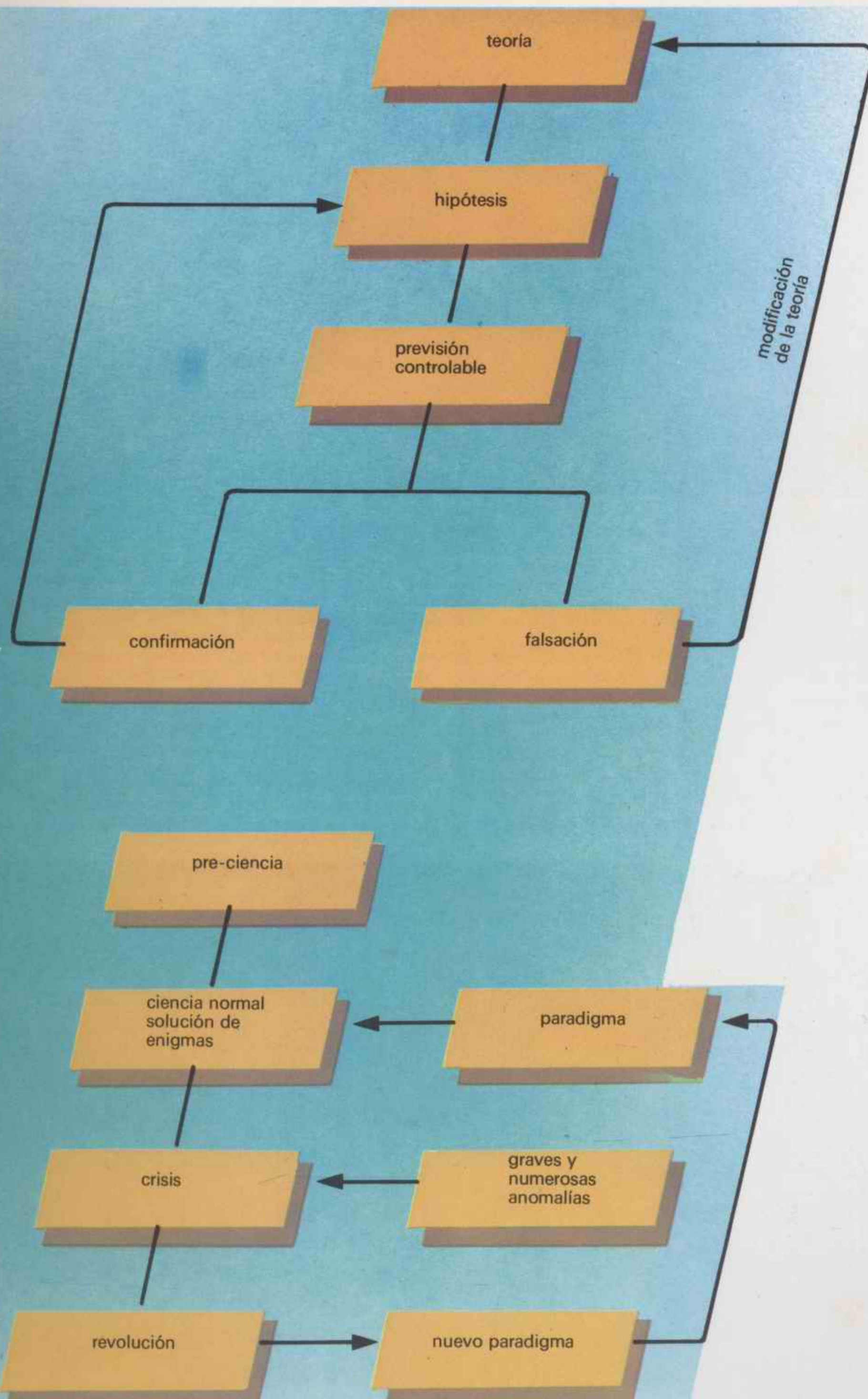
La forma habitual de resumir las complejas cuestiones relativas al método científico es la exposición de una serie de normas. Ello implica un grave peligro: confundirlo con una especie peculiar de moral, de código de lo que está bien o mal, de lo que debe hacerse o evitarse para estimar como correcta una actividad científica. Para no caer en esta confusión, ni perderse en el interminable laberinto de reflexiones filosóficas en torno al tema, puede ser útil adoptar una perspectiva sociológica, desde la cual el método científico no es más que uno de los aspectos de los patrones de conducta institucionalizados de la comunidad científica internacional. Conviene añadir inmediatamente que, lo mismo que los demás patrones de comportamiento, los que integran el método científico son sólo relativamente estables, característica que permite estudiar su vigencia en una sociedad concreta y en un período determinado, pero que no debe hacer olvidar que están sometidos al cambio histórico y al pluralismo cultural. Por lo tanto, carece de sentido hablar del método científico en singular, como si se tratara de un sistema normativo único e inmutable. El único enfoque general serio es un análisis histórico y transcultural de las distintas formas que el método ha adoptado en todas las sociedades que han desarrollado actividades que acordemos considerar como científicas (con unos criterios que son necesariamente convencionales). A pesar de su gran interés, dicha tarea no puede ser abordada aquí. La otra opinión es limitarse a una sola versión del método científico, sin pretensión alguna de validez intemporal y absoluta. Es la que vamos a seguir, intentando solamente describir de forma sumaria los principales elementos del método científico vigente en la actualidad en la comunidad científica internacional de los saberes acerca de la Naturaleza integrados en la llamada ciencia académica de origen europeo.



Apenas hace falta decir que al poner esa serie de condiciones excluimos otras concepciones del método, total o parcialmente diferentes, como las propias de las ciencias de origen chino o indio, de los numerosos saberes extraacadémicos cultivados hoy en nuestra sociedad, de las ciencias sociales y humanas desarrolladas en distintas épocas y culturas, así como de etapas anteriores de la misma ciencia académica europea sobre la Naturaleza.

Como hemos referido el método a la institucionalización de la actividad científica, comenzaremos recordando que con dicha expresión suele designarse el proceso de aceptación y sanción de pautas de conducta o patrones colectivos de comportamiento por parte de los grupos de cultivadores de las ciencias. Simplificando, quizá de forma excesiva, los esque-

No existe acuerdo entre los especialistas sobre lo que debe entenderse por *ciencia* y *método científico*. En el siglo XIX, el enfoque más generalizado fue el inductivismo, del que se ofrece un esquema en el diagrama de arriba a la izquierda, procedente del tratado de filosofía científica (1840), de William Whewell. Según los inductivistas, se parte de las observaciones y de los hechos y se llega hasta las leyes científicas mediante la *inducción,* que permite pasar de los casos particulares a la regla general. En nuestra época, el neopositivismo ha insistido en la importancia de las teorías, negando la intervención del proceso inductivo; primero se formulan las teorías y después se intenta verificarlas con experimentos y observaciones (diagrama de abajo a la izquierda). La *verificación* constituye para los neopositivistas el criterio que permite distinguir las afirmaciones científicas de las que no lo son, en principio, una afirmación es científica si se puede verificar con observaciones o experimentos. Karl R. Popper, filósofo vienés emigrado a Londres, ha definido una postura algo distinta (diagrama de arriba a la derecha). Su criterio para delimitar la ciencia no se basa en la verificación, sino en la *falsación;* en principio, una afirmación es científica si se puede falsar. Planteado un problema, primero se formula una hipótesis sobre su posible solución y después se somete dicha hipótesis a prueba, intentando falsarla. El diagrama



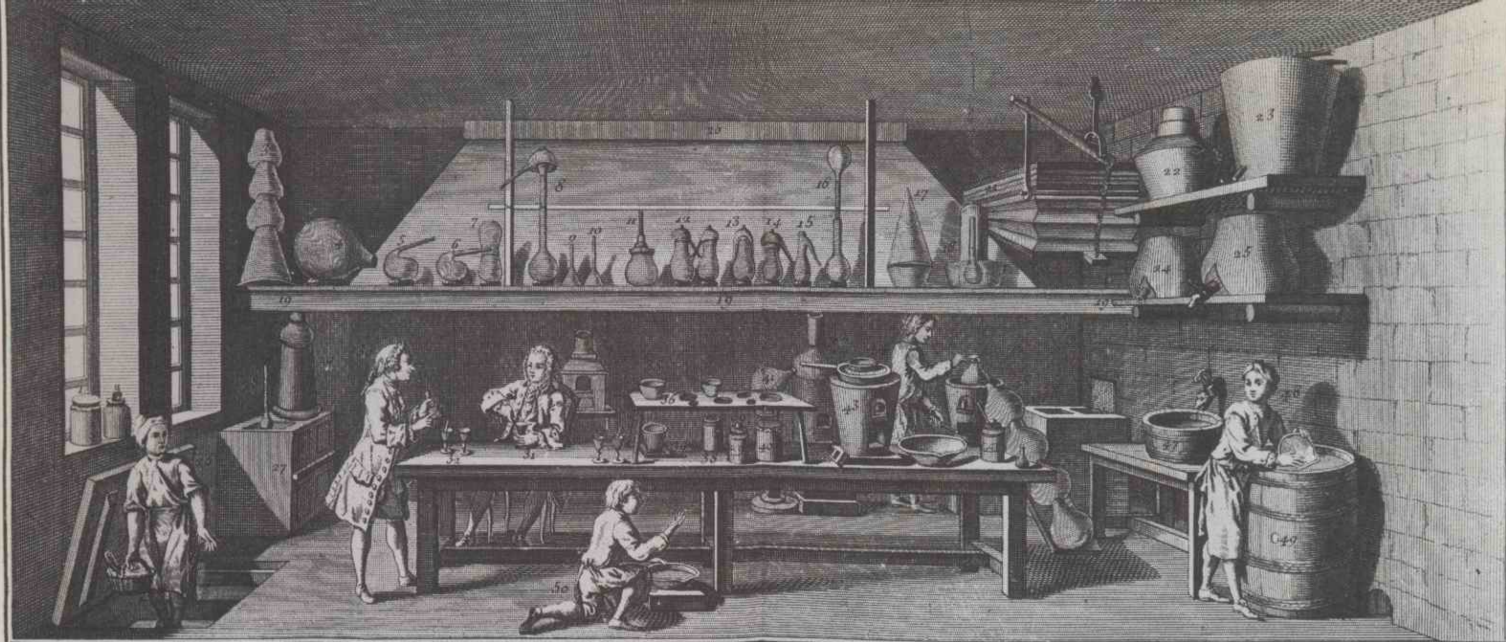
de abajo a la derecha corresponde a la postura de Thomas Kuhn. Para este autor, los motores del crecimiento del saber científico no son ni los intentos de verificación ni los de falsación. En la ciencia se constituyen periódicamente *paradigmas,* grandes teorías generales, como la de Newton, que definen una manera determinada de actividad científica. Los científicos las asumen y se dedican a investigar problemas particulares para cuya solución aplican los métodos definidos por los paradigmas. Solamente cuando los problemas sin resolver son excesivos y demasiado frecuentes, los paradigmas entran en crisis. Al período de *ciencia normal* sucede otro de *revolución científica* que conduce a la instauración de nuevos paradigmas.

mas de Merton, podríamos decir que el patrón de conducta más general vigente en la comunidad científica internacional de la que estamos hablando consiste en aceptar como criterio común la *objetividad*, limitándose exclusivamente a explicaciones cuya validez pueda ser comprobada o rechazada en función de dicho criterio. Ello exige excluir del discurso científico los juicios de valor propios de los otros grupos sociales (políticos, religiosos, nacionales, etc.) a los que pertenece cada cultivador de la ciencia, así como sus vivencias exclusivamente individuales.

La forma más llana de caracterizar el núcleo de esta versión del método científico es identificarlo con la exigencia colectiva de elaborar explicaciones de los diferentes aspectos de la Naturaleza a partir de *hechos* o *datos*. La convención social básica consiste en aceptar como hechos o datos los fenómenos que pueden ser recogidos con los sentidos y que reúnen dos condiciones: ser intersubjetivos (lo que descarta las vivencias personales intransferibles) y ser repetibles (lo que elimina los acontecimientos singulares).

Es habitual distinguir entre dos formas de recogida de datos: la *observación* y la *experimentación*. La observación es fundamentalmente pasiva, porque en ella no se puede controlar ni las condiciones ni el momento en que se producen los fenómenos. Tiene importancia en todas las ciencias de la Naturaleza y en algunas, como la Astronomía o la Etología, constituye la fuente principal de los datos. La experimentación es una variante perfeccionada de la observación, en la que el científico controla tanto el momento como las circunstancias en que los fenómenos se producen. Desencadenar cuando se desee la producción de un fenómeno permite una planificación activa de la recogida de hechos, frente a la pasividad de la observación. Más importante todavía es poder variar las condiciones en las que el fenómeno se produce, ya que posibilita las series de experimentos en las que se varía de modo sistemático una determinada circunstancia (por ejemplo, la presión, la temperatura, etc.) para comprobar su relación con el fenómeno. Estas series son características de los que, desde Claude Bernard, es costumbre llamar "experimentos analíticos". De este gran clásico de la metodología científica procede también la contraposición, hoy escolar, entre la Naturaleza como escenario de la observación y el laboratorio como marco de la experimentación.

El punto de partida del razonamiento científico es la *hipótesis provisional* o "a priori". Consiste en relacionar los hechos entre sí y puede hacerse de los modos más diversos: con muy pocos datos o con series de hechos muy amplias; sobre la base de la experiencia vulgar, o apoyándose en experimentos muy rigurosos o especializados; de modo intuitivo, incluso de forma inconsciente —de lo que hay varios ejemplos ilustres en la historia de la ciencia contemporánea—, o siguiendo unas normas muy precisas. En cualquier caso, las hipótesis provisionales no son admisibles sin someter a prueba su validez. En su *validación abierta a todos* reside precisamente la diferencia fundamental entre el método científico que estamos describiendo y otras versiones, entre ellas, la procedente de la Antigüedad clásica griega. El aspecto fundamental de dicha prueba de validez es contrastar la hipótesis con los datos disponibles para comprobar si los explica. Este es el punto en el que resulta más claro el desacuerdo entre las distintas corrientes de estudio-



sos del método científico, sobre todo entre el inductivismo tradicional, el neopositivismo y las posturas de Popper y de Kuhn, cuyos esquemas básicos se resumen en los diagramas adjuntos. La innegable complejidad del tema no debe ocultar la ruptura profunda que la implantación de este método significó en relación con los supuestos básicos de las ciencias anteriores. Su escenario original fue la Europa Occidental del siglo XVII, período que suele denominarse *Revolución Científica* por antonomasia y personificarse en figuras de gran relieve, como el físico Galileo o el fisiólogo Harvey. La ciencia acerca de la naturaleza originaria de la Antigüedad clásica griega, difundida y enriquecida en el mundo helenístico antiguo, en el bizantino, en el islámico y en la Europa latina medieval, se había basado en una concepción esencialista del conocimiento, es decir, en un saber sobre la esencia (en sentido metafísico) de la realidad y, por ello, de validez absoluta y definitiva. Por el contrario, el método científico desarrollado en la Europa moderna, sea cual sea la perspectiva o corriente desde la que se examine, supone un conocimiento meramente *notativo*, limitado a los fenómenos y su interrelación. En consecuencia, su validez es *relativa* —está en relación con los datos disponibles en un momento dado— y *provisional*, puesto que permanece continuamente abierta al contraste con nuevos datos.

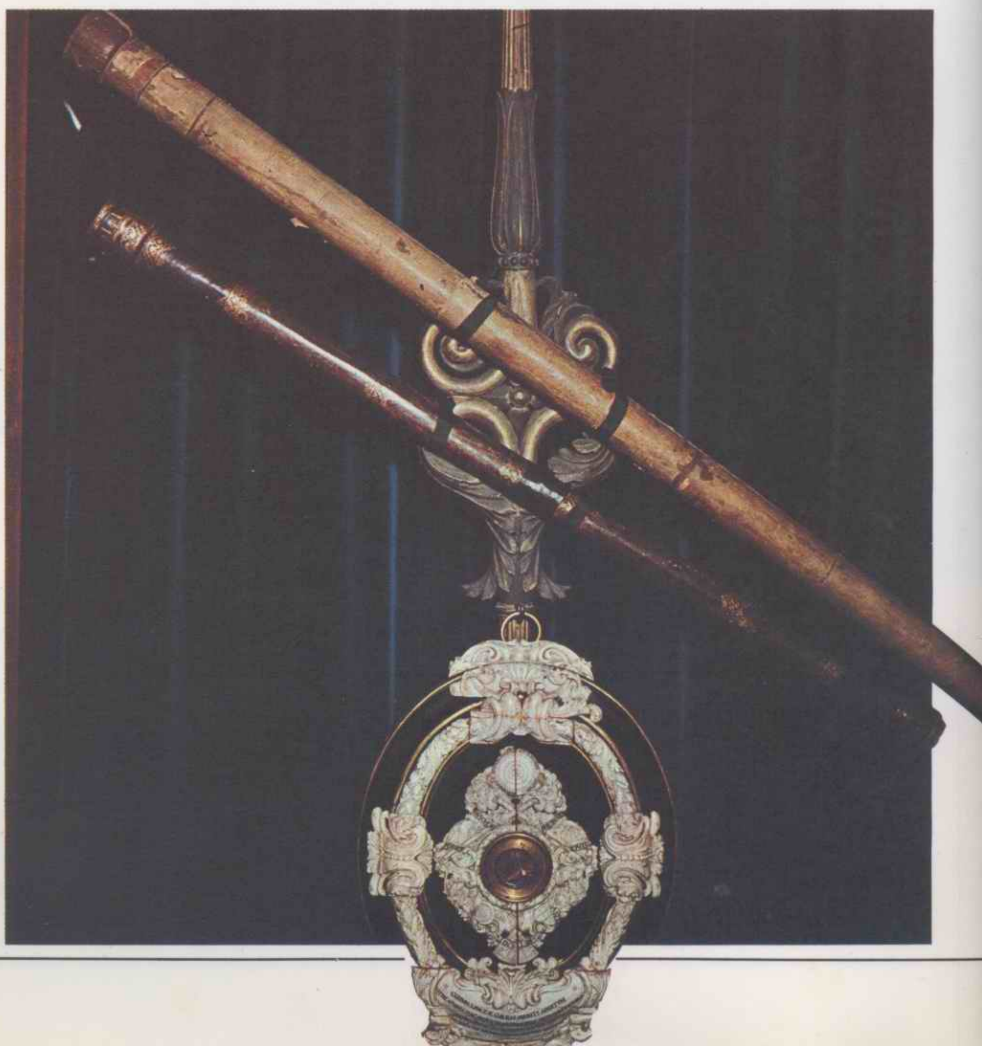
Suele hablarse de *explicaciones* para referirse a las hipótesis válidas propias del conocimiento científico moderno, contraponiéndolas a las *interpretaciones*, que serían resultado de métodos especulativos con pretensiones esencialistas. Las explicaciones son a menudo llamadas *leyes*, sobre todo cuando las relaciones entre los hechos están expresadas mediante funciones matemáticas. Un ejemplo clásico de mención casi obligada son las leyes del movimiento uniformemente acelerado que toma un cuerpo al caer en el vacío, que relacionan el tiempo transcurrido a partir del comienzo de la caída (t), la velocidad (v), el espacio recorrido (e) y el valor de la gravedad en un lugar determinado (g):

$$v = gt \quad e = 1/2gt^2 \quad v^2 = 2ge$$

No obstante, junto al gran número de leyes cuantitativas que se podría citar en cualquier ciencia de la Naturaleza, hay otras muchas que expresan relaciones cualitativas. Bastará recordar, como otro ejemplo asimismo clásico y escolar, la ley de Bell y Magendie, que afirma que las raíces anteriores de los nervios raquídeos

Laboratorio químico del siglo XVIII, según un grabado de la *Encyclopédie* de Diderot (arriba) y anteojos astronómicos empleados por Galileo para sus observaciones durante los años 1609-1610 (abajo).

Los instrumentos constituyen un elemento importante de la actividad científica. Por una parte, los progresos de la ciencia permiten construir instrumentos cada vez más perfectos; por otra, el manejo de mejores instrumentos conduce, a su vez, a nuevos progresos científicos. El anteojo astronómico y los aceleradores de partículas ampliaron notablemente el campo de observación.

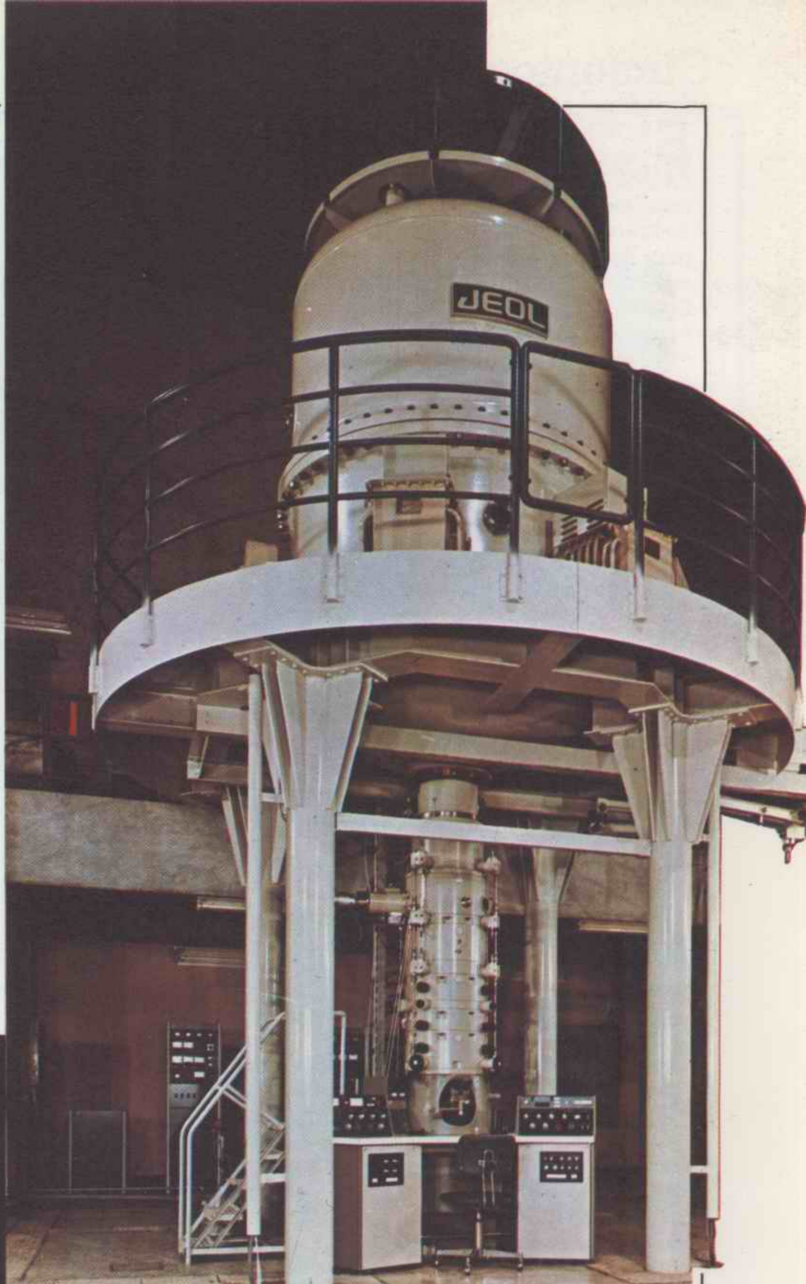


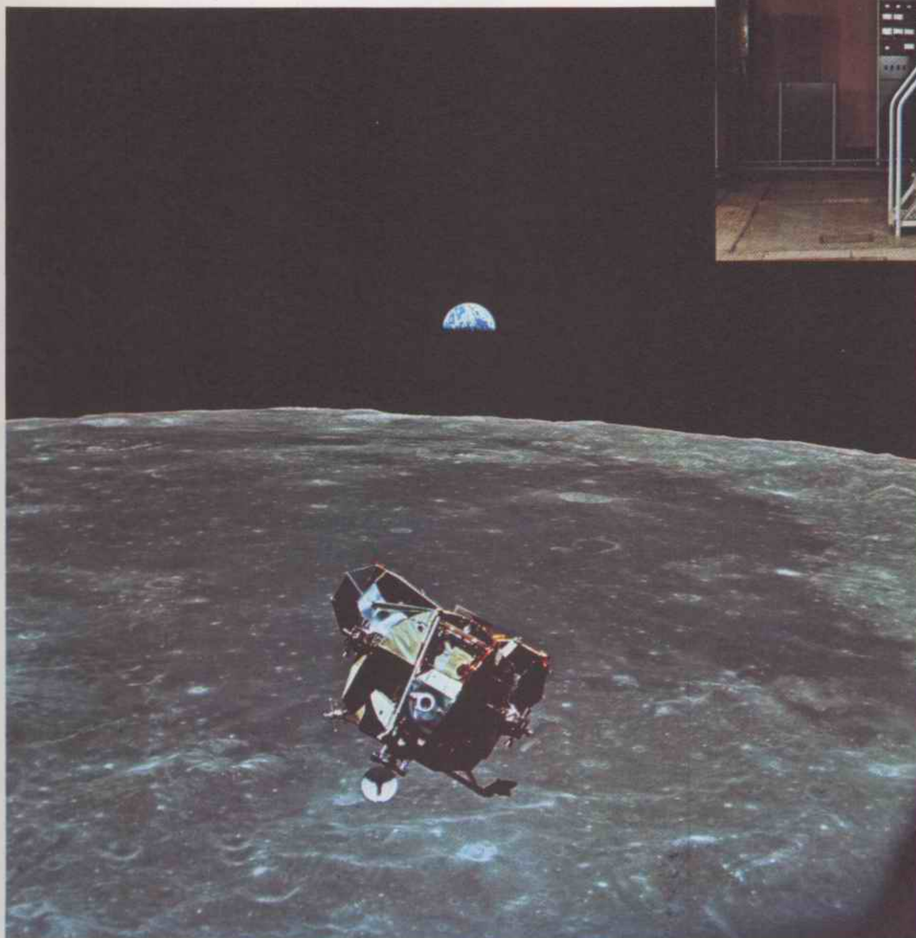
son motoras y las posteriores, sensitivas.

Cuando las explicaciones son de carácter sistemático y se refieren a toda una zona o aspecto de la Naturaleza, organizando de modo coherente un conjunto de leyes vecinas, es habitual denominarlas *teorías*. De esta forma, se habla de "teoría de la relatividad", de "teoría de los quanta", de "teoría ondulatoria de la luz", de "teoría celular", de "teoría de la evolución", etc. Sin embargo, tampoco este término se usa de manera consistente ya que, al lado de estas grandes estructuras doctrinales, se llaman teorías innumerables hipótesis explicativas de mediano y pequeño rango.

La mayor parte de los manuales de metodología científica y también de los estudios y reflexiones en torno al método se refieren fundamentalmente a las ciencias físicas y químicas, que son las más firmemente consolidadas. Por ello, conceden poca atención, en general, a los *tipos* y *patrones*, en los que se apoya en gran medida la construcción teórica de disciplinas como la Botánica, la Zoología y la mayor parte de las ciencias de la Tierra y de los saberes médicos. Los tipos y patrones son también hipótesis consistentes en interrelaciones de fenómenos, pero formuladas como descripciones de la regularidad de presentación conjunta de fenómenos naturales, más que como explicaciones dichas.

Anotemos, por último, la importante función que desempeñan los *modelos* en el método científico moderno. Aunque, una vez más, no exista un uso preciso y unánime de este término, suelen llamarse modelos las representaciones de un aspecto de la realidad basadas en hipótesis relativas al mismo. En la enseñanza se emplean modelos didácticos, que son representaciones simplificadas en mayor o menor grado mediante dibujos u objetos, en las que se recurre casi siempre a la analogía o la metáfora. En la investigación tienen una importancia cada vez mayor los modelos científicos en sentido estricto, que aspiran a representar de forma biunívoca y con toda su complejidad el aspecto de la realidad al que se refiere una hipótesis o teoría. Dicha complejidad y la necesidad que tienen los investigadores de introducir continuamente modificaciones explican que los modelos materiales e incluso los iconónicos sean desplazados cada día más por modelos formales, consistentes en relaciones matematizadas de intrincadas redes de fenómenos.





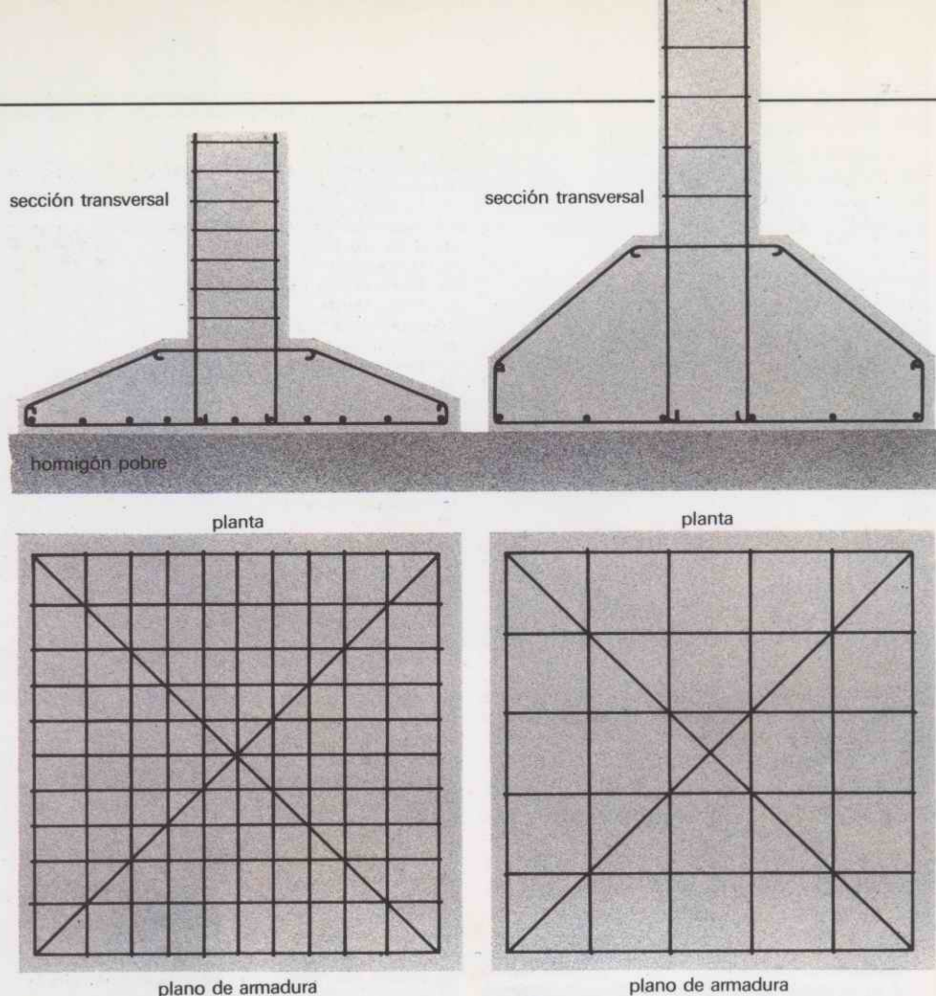
Potente microscopio electrónico (al lado) y descenso del módulo de alunizaje del Apolo XI, en 1969 (abajo). La imagen actual de la ciencia está condicionada por acontecimientos como la utilización de la energía nuclear (con fines primero bélicos y después pacíficos), el envío del primer hombre a la Luna y los grandes viajes interplanetarios, los éxitos de la electrónica y la automatización, así como la aparición de problemas ecológicos. Todos ellos han llevado a reflexionar sobre temas como el impacto de la ciencia en la sociedad, el papel social de los científicos y las relaciones entre ciencia y técnica. La ciencia se presenta cada vez más como un medio de producción asociado a la industria; su dimensión intelectual está a menudo oscurecida por su manipulación para conseguir objetivos, por ejemplo, políticos (este factor ha sido importante en el desarrollo de los viajes espaciales, sin negar su mérito científico).

Cimientos

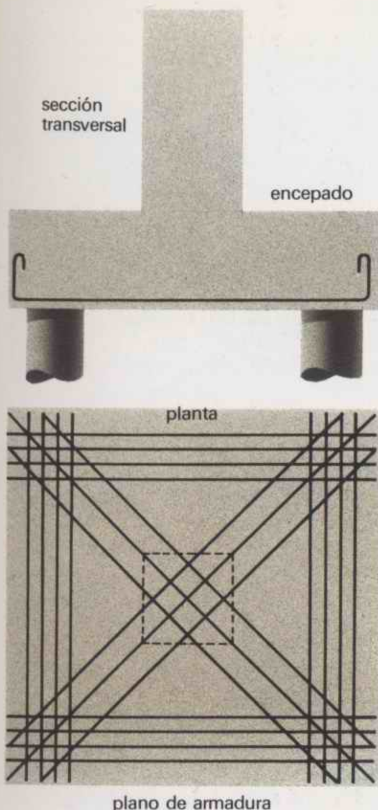
En ingeniería, para poder establecer qué peso puede sostener una determinada área, deben tenerse en cuenta sus características geológicas, así como datos concernientes a los edificios cercanos para después proceder a una perforación con el fin de extraer muestras del terreno. Estas son posteriormente analizadas por especialistas en mecánica del suelo, los cuales saben, por ejemplo, que la arcilla soporta una presión de 9.680 Kg/m^2 sin asientos y que la roca ígnea más dura llega a 50 t/m^2. Sin embargo, normalmente, un terreno suele estar formado por varios estratos de diversos materiales. Además, fallas y diaclasas en la roca, cavidades subterráneas y cursos de agua pueden haber debilitado seriamente el material sobre el que se llevará a cabo la cimentación, por lo que un buen estudio en ese sentido es fundamental antes de realizar cualquier construcción.

El piso del aeropuerto de La Guardia, en Nueva York, ha "cedido" 1,8 m desde que fue construido en 1939, pues los ingenieros infravaloraron la compresibilidad de los rellenos vertidos en el suelo de los que se habían servido para mejorar la calidad del terreno en la zona de Flushing Bay donde se asienta el aeropuerto.

Cimentaciones sólidas El fin de las cimentaciones es el de distribuir el peso de

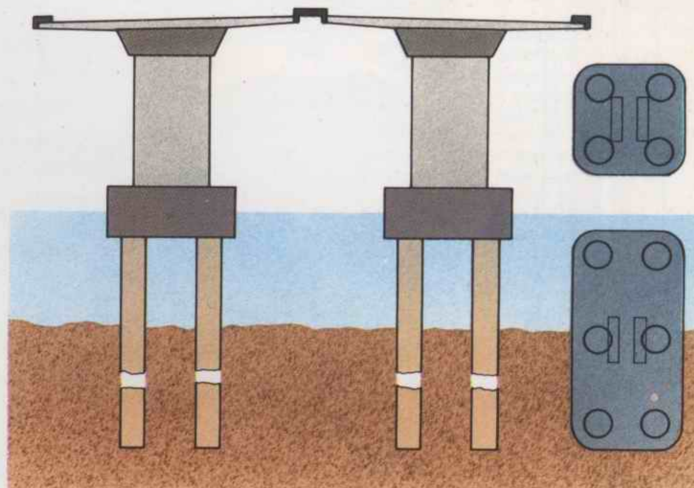


Arriba, estructura de las zapatas de cimentación sobre las cuales se apoyan los pilares portantes de un edificio. La función de la zapata es la de distribuir la elevada carga del pilar sobre una superficie que sea lo más amplia posible. Esta debe ser más amplia en el área del terreno que, por su naturaleza, esté menos capacitada para ser sometida a esfuerzos verticales. Por ese motivo la zapata está sometida no sólo a esfuerzos de compresión, sino también a tracciones por flexión, y por ello debe armarse con barras de acero. En los dibujos de la parte superior se ve la sección tranversal del apoyo del pilar en la zapata y, debajo, el plano de armadura, es decir, el dibujo según el cual la misma está dispuesta en la zapata. Aquí abajo, una cimentación entera para un edificio en terreno no muy coherente. En vez de zapatas, los apoyos de los pilares forman una red de vigas horizontales perfectamente unidas entre sí. No siempre, como se ve en la figura, se cierran inferiormente; sólo en terrenos débiles.



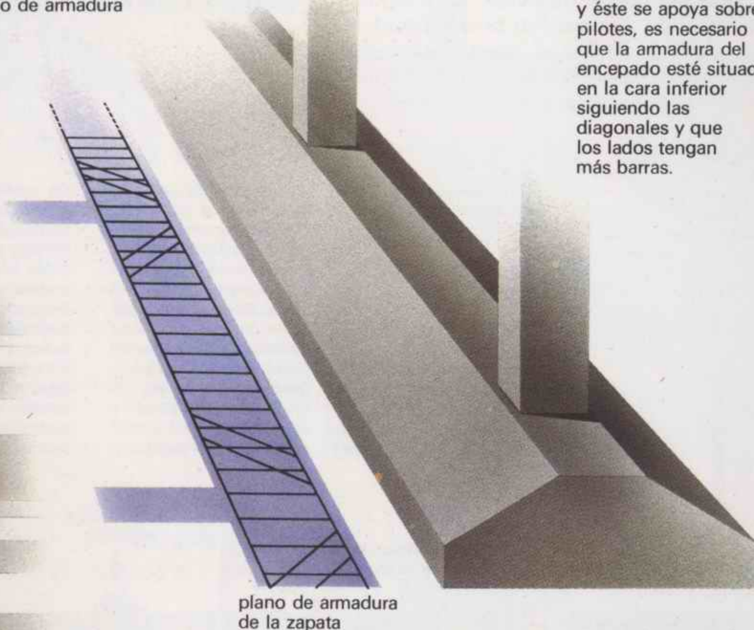
Cuando los cimientos deben colocarse en un terreno muy débil, existe el peligro de que se hundan. En arcillas que al ser saturadas por las aguas se fluidifican, la solución es la de construir cimientos encamisados (cajones unidos): éstos estarán capacitados para hundirse en el terreno en que se apoyan por ser éste más fluido. Pero si la debilidad del terreno no alcanza valores tan elevados, entonces es suficiente con recurrir a cimentaciones sobre pilotes. En ese caso los pilares se apoyan en zapatas especiales (*encepados*) asentadas sobre robustos pilotes de hormigón (a la derecha).

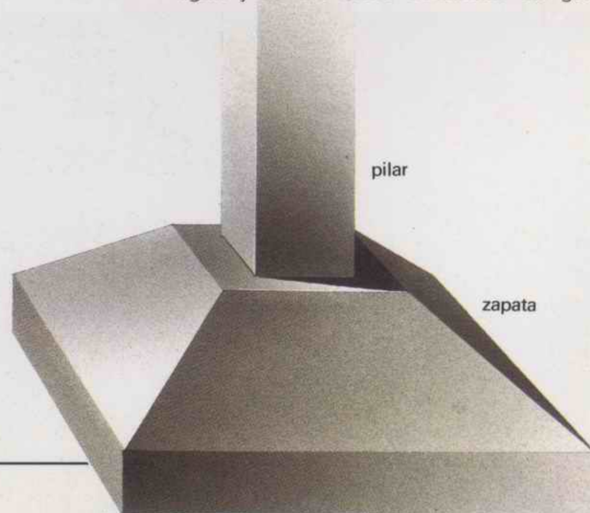
ESTRUCTURA PARA PUENTES O PARA TERRENOS INCOHERENTES



Arriba, a la izquierda, sistema de apoyo de un pilar en un encepado que a su vez se asienta sobre pilotes. Puesto que el pilar comprime sobre el centro del encepado y éste se apoya sobre pilotes, es necesario que la armadura del encepado esté situada en la cara inferior siguiendo las diagonales y que los lados tengan más barras.

una superestructura (edificio, puente, presa, muro o el trazado de la carretera) sobre la superficie del terreno de manera que pueda sostenerlo sin excesivos asientos y sin deslizamientos laterales. En toda construcción, los soportes, los pilares y los muros se apoyan sobre unas bases de hormigón más amplias, llamadas *cimientos*. Si la carga es pesada o el terreno débil, los cimientos pueden ser muy amplios (extensos) o fundirse en una *zapata* o en una *solera* continua. En las cimentaciones frontales se excava el terreno formando la solera, los pilares y los muros con una base en forma de cajón. Esta base aligera la carga del edificio según el principio de Arquímedes por el cual un cuerpo flota cuando su peso es menor que el del agua (en este caso, agua y tierra). Como consecuencia de ello, si el edificio no se puede anclar en el fondo, se le podrá "hacer flotar" en el terreno circundante. Este constituye uno de los motivos por los que las excavaciones para la cimentización de los rascacielos deben ser de una notable profundidad. En el caso de que el nivel freático esté situado por encima de la base de la cimentación, se deben proyectar los muros de modo que resistan la presión del agua y se les debe circundar de grava





A la derecha, la estructura con forma de tronco de pirámide de una zapata para un pilar portante de un edificio. La armadura de acero que está dentro de la zapata se ve en la página anterior, arriba. Esta sirve para reforzar la zapata de los esfuerzos que tenderían a plegarla aplastando el centro y elevando los bordes (flexión) y de los que harían que penetrase el pilar dentro de la zapata misma (cortante). Sobre estas líneas, una zapata continua, modalidad muy útil para terrenos medianamente coherentes.

que la drene. A veces son necesarias también bombas de achique. En las zonas en las que la lluvia es abundante, se pueden prevenir posibles inundaciones disponiendo una capa de asfalto, plástico o tejido y brea entre las capas de hormigón de la cimentación continua y de las paredes.

Aún más profundas Si se trata de construir estructuras sobre el agua o sobre un terreno cuya capa superior es débil, los pilares, los pilotes y los cajones se hacen penetrar hasta alcanzar los estratos más resistentes.

En un procedimiento desarrollado por los antiguos romanos para la construcción de puentes, enormes troncos y pilares de hormigón se introducen en el terreno por medio de unas mazas (por caída libre de grandes pesos). Los pilotes de hormigón para rascacielos, de hasta 3,5 m de diámetro y 30 m de longitud, se colocan en perforaciones excavadas anteriormente.

Los cajones, usados en la construcción de puentes, son enormes estructuras asentadas gradualmente e introducidas en el suelo excavando desde el interior. Las máquinas y los obreros excavan y dragan sobre el fondo protegidos por las paredes del cajón. Esas paredes se van levantando gradualmente mientras los obreros que excavan avanzan en profundidad; el peso añadido facilita el asentamiento del cajón en el terreno. Los cajones de dimensiones muy grandes, como, por ejemplo, el central del puente sobre la bahía de San Francisco (con una profundidad de cerca de 76 m), son subdivididos en varios elementos que se llenan de agua o aire comprimido durante las excavaciones.

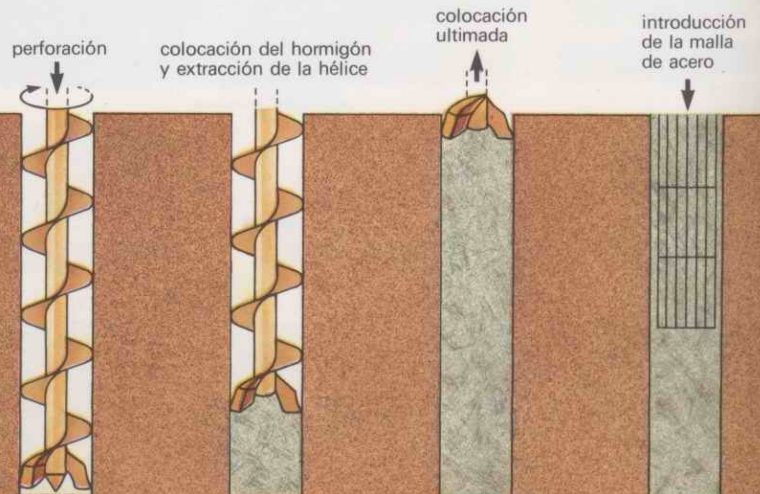
Cuñas para terrenos inestables Si los cálculos se realizan correctamente, es posible estabilizar el material débil de las cimentaciones y evitar desastres precargando el área con una pila pesada de desechos, colocando seguidamente la cantidad prevista en el proyecto de los trabajos.

En excavaciones con paredes inestables, después de que la cimentación ha sido colocada, se pueden apuntalar las paredes con troncos de madera o barras de acero puestos contra la cimentación con una determinada inclinación. Las columnas y las paredes de cuando en cuando se pueden desplazar ligeramente. La carga se rectifica con gatos hidráulicos y mecánicos (similares a los de automóvil) o mediante cuñas, vigas de acero fijadas a la columna o a la pared, cuya extremidad se apoya sobre paneles entrecruzados de acero.

La solución más costosa y difícil, para cimentar en terrenos inestables, está representada por la prolongación de la cimentación a una mayor profundidad.

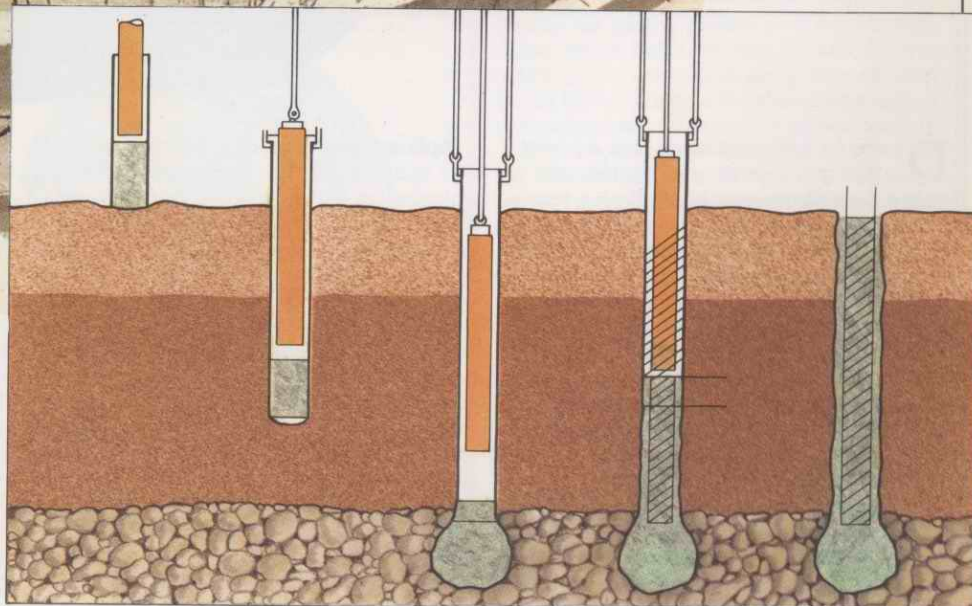
Véase **Cemento; Construcción, materiales de; Hormigón**



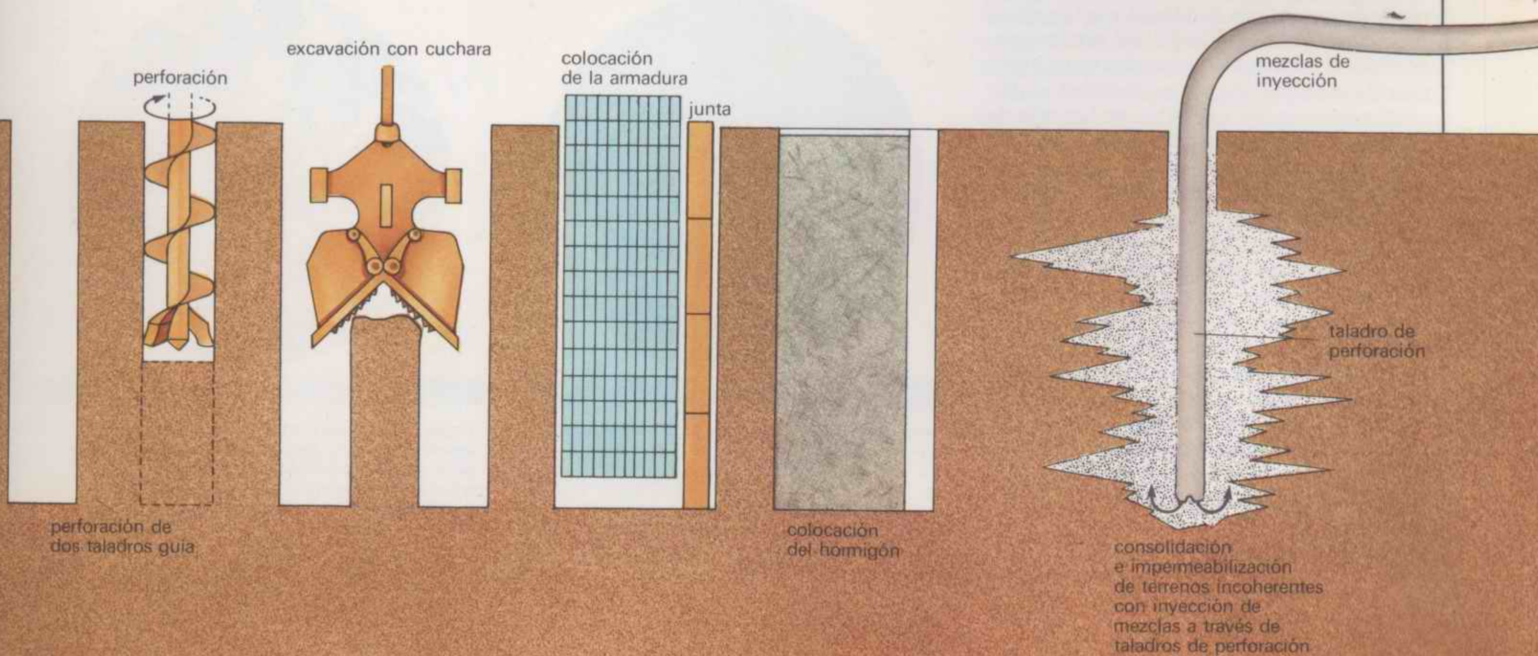


A la izquierda; perforadora dotada de dos accesorios. El que está ilustrado en la figura es un elemento perforador con forma helicoidal que puede penetrar en terrenos poco coherentes para practicar un agujero que después se convertirá en un pilote mediante la colocación de hormigón u otro material; o bien, en el taladro podrá ser introducido un pilote prefabricado. El otro accesorio es una maza que, aprovechando la caída, puede hacer que se hinque en el terreno el pilote sin haber practicado el taladro. Aquí abajo, las fases del trabajo de perforación. La rotación de la punta de la hélice (a la izquierda) realiza el corte penetrando en el terreno y extrayendo hasta la superficie el material ahora desmenuzado. A la derecha, una vez extraída la hélice se introduce el pilote o bien se hinca en el terreno con la maza que alternativamente se eleva y se deja caer.

A veces los cimientos han de servir de apoyo no a la construcción de un edificio, sino a un elemento manufacturado de acero, como un depósito, una caldera o maquinaria de gran peso. Además, a menudo esas grandes maquinarias deben estar adyacentes y unidas entre sí, con una perfecta estabilidad dimensional en la unión, lo que exige apoyarlas sobre una cimentación única. Este es el caso ilustrado a la izquierda. Abajo, un tipo de pilote para terrenos poco coherentes. Tras introducir un tubo en el terreno, se inyecta hormigón, que forma en la base una zapata muy estable.



Abajo, técnicas de consolidación del terreno con pilotes e inyección de materiales. A la izquierda: después de haber realizado dos taladros con la hélice se aplica sobre el terreno una excavadora de cuchara que consigue eliminar fácilmente el trozo de material entre los dos taladros. En este caso es posible ya introducir una malla de acero para armar capas sucesivas de hormigón, como se ve en la tercera y cuarta posiciones. A la derecha, una sonda inyecta una lechada de cemento a presión y consolida de esta forma los materiales incoherentes.



Cinc

NOMBRE	CINC
SIMBOLO	Zn
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE	del alemán *Zink*
N. ATOMICO	30
PESO ATOMICO	65,37
ESTADO NATURAL	en los minerales de blenda, smithsonita y willemita
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	conocido en estado puro en el siglo VII (India)
PRODUCCION	tostación de la blenda, reducción con carbón en un horno del óxido y refinación por medio de destilación fraccionada
P.f. (°C)	419
P. eb. (°C)	906
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	7,13
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal dúctil y maleable; buen conductor del calor y la electricidad, utilizado para recubrir materiales metálicos (galvanizado), en las pilas secas y para los tejados; entra también en la composición de algunas aleaciones; óptimo metal antirrozamiento

A la derecha, uno de los minerales de cinc más conocidos, el carbonato de cinc, cuya fórmula es $ZnCO_3$. Está bastante difundido en la Naturaleza y es utilizado para la extracción de este elemento.



Desde la Antigüedad, el cinc es conocido y utilizado en aleación con el cobre para obtener el latón. En los textos bíblicos se hace referencia a un descendiente de Adán, de la séptima generación y de nombre Tubal Cain, como maestro en las técnicas de fabricación del latón, y, según el *Exodo*, en la tierra de la leche y la miel podía encontrarse el latón en las laderas de las colinas. En Europa, el cinc no se aisló en forma pura hasta mediados del siglo XVIII. Hoy día el cinc tiene múltiples aplicaciones, entre ellas la fabricación de baterías eléctricas y el cincado.

Familia del cinc El cinc es el miembro más ligero del grupo de elementos cuyo nombre es precisamente el de *familia del cinc*. Una familia de elementos es un grupo cuyos miembros muestran propiedades químicas similares y están situados en la misma columna del sistema periódico. El mencionado sistema es una técnica de clasificación de los elementos, que se disponen sobre una tabla en función de su estructura atómica. Sobre esta tabla los miembros de la familia del cinc se encuentran en la séptima columna a partir de la derecha.

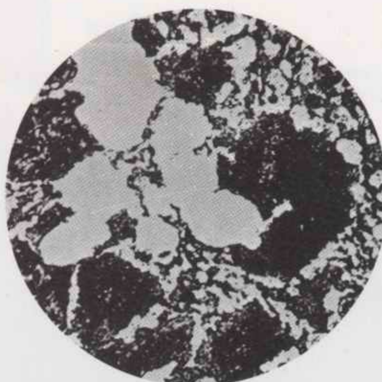
En la parte alta de la columna se sitúa el cinc, seguido por el cadmio y el mercurio. Los tres son metales con bajo punto de fusión; el mercurio es incluso líquido a temperatura ambiente.

El cinc es químicamente activo, de ahí que no se encuentre en la Naturaleza en estado puro. Ha de obtenerse a partir de sus minerales (blenda, calamina, smithsonita y cincita), que se encuentran en abundancia en todo el mundo y entre los que destaca la blenda, un compuesto de cinc y azufre.

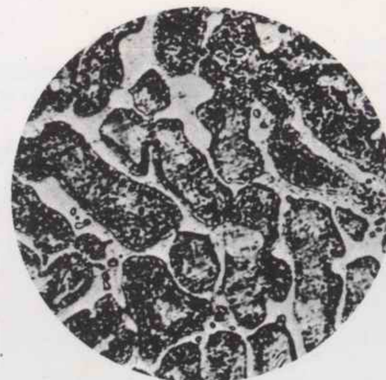
Aplicaciones El cinc tiene muy variadas aplicaciones, en razón a su actividad química en el laboratorio, como revestimiento de otros metales (galvanizado) y en las baterías. El cinc sustituye a los metales menos activos en los compuestos químicos. Cuando los átomos del cinc se diluyen en una solución de sulfato de cobre, dichos átomos reemplazan a los del cobre, que son menos activos, formando sulfato de cinc, mientras el cobre metálico se queda como residuo. Los átomos del cinc pueden también sustituir a los del hidrógeno en los ácidos. El cinc es, pues, un útil instrumento químico para liberar algunos elementos de sus compuestos.

El cinc se utiliza también para proteger de la corrosión conducciones, tubos, hojas, hilos, clavos y otros objetos metálicos. Aunque pueda parecer extraño, el cinc protege eficazmente estos metales precisamente por su actividad. Esto ocurre por dos razones. Primera, cuando están expuestos al aire, los átomos del cinc reaccionan con las moléculas del aire formando una fina capa protectora que evita la ulterior corrosión. Segunda, los átomos del cinc reaccionan más fácilmente con sustancias tales como el oxígeno que podrían corroer el metal.

Existen muchas modalidades de utilización del cinc para proteger los metales. Una de ellas es el recubrimiento de metales con una capa de cinc: este proceso se conoce como *cincado*. Esto se efectúa por medio de un proceso electrolítico pu-

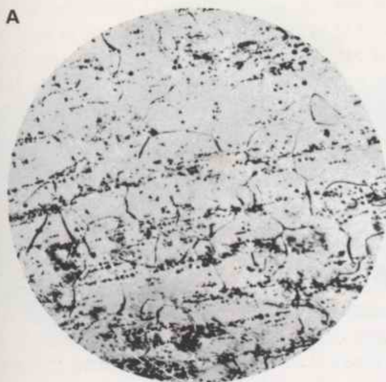


Arriba, aleaciones Kayem. Se producen de dos tipos usando cinc, aluminio y cobre. Sirven para la construcción de moldes. La Kayem 1 es apta para la fabricación de moldes para prensas. La Kayem 2 es utilizada para moldes de chapas de acero dulce, pero se emplea menos porque es menos dúctil aunque más resistente.

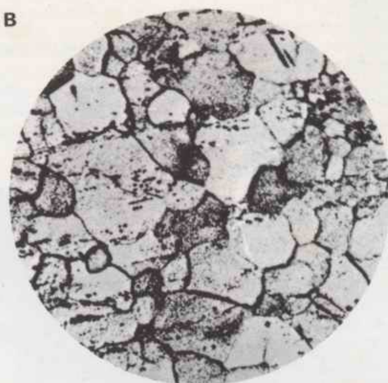


Arriba, aleaciones Ilzro. Son aleaciones de aluminio, cobre y cinc de cierta pureza. Siendo particularmente sensibles a la velocidad de solidificación, permiten una gran variedad de moldes y su fluidez deja reproducir con fidelidad los detalles y disminuir por lo tanto los tiempos de terminación.

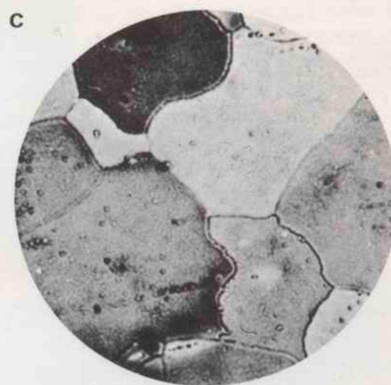
A



B

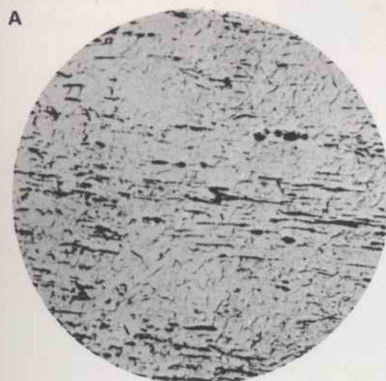


C

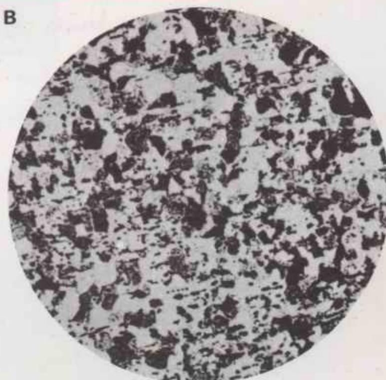


Las aleaciones para cincografía son laminados de notable espesor, capaces de soportar incisiones profundas sin perder su rigidez. El grosor más utilizado es el de 2 mm, pero puede bajarse a 1 mm, o llegar hasta 3 mm. Sirven para la preparación de clichés cincográficos para trazo o media tinta. Las características requeridas por el uso al que se destinan son: capacidad de soportar el calentamiento sin que se altere la cristalización del metal; dureza de la superficie (suficiente para garantizar una larga duración de la plancha de imprenta); capacidad de soportar favorablemente el ataque químico, utilizado para conseguir unas superficies perfectamente regulares. En A y en B, ejemplos de microestructuras de aleaciones para cincografía después del ataque químico: son bien visibles los puntitos alineados horizontalmente en la matriz del cinc. En C, laminado normal de cinc electrolítico no aleado; después de la cocción es inutilizable.

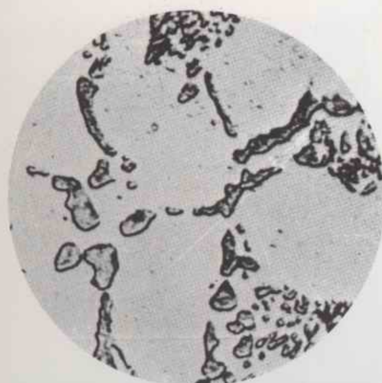
A



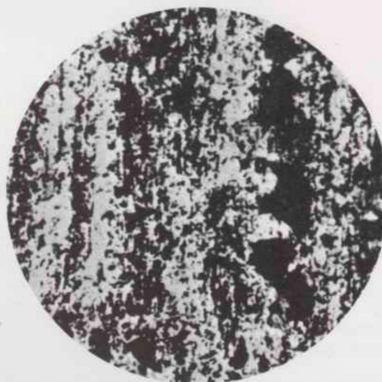
B



A las aleaciones empleadas para pilas de tipo seco se les exige sobre todo una buena resistencia a la corrosión química. Plomo y cadmio son dos metales que, asociados al cinc electrolítico, ejercen un efecto "pasivante" sobre el ataque químico de soluciones de ácido sulfúrico. En A, microestructura de laminados en este tipo de aleación, sin ataque químico; en B, el mismo tipo de microestructura con ataque químico.



Arriba, aleaciones Zama, utilizadas para coladas en arena, en concha y especialmente para presofusión. Son aleaciones que exigen cinc hiperpuro, aluminio al 99,5% y cobre electrolítico al 99,9%. La adición de aluminio afina el grano y hace la aleación más resistente; el cobre evita la corrosión intercristalina.



Arriba, aleación para cubrimiento de tejados. La presencia del cobre y del titanio confiere al laminado una estructura cristalina más resistente y más estable, alterando positivamente algunas de sus características físicas, mecánicas y tecnológicas de particular importancia para el uso al que se destina.

liendo las partes metálicas y sumergiéndolas en un baño de cinc líquido (*galvanizado*); por absorción del polvo de cinc en un horno adecuado (*sherardización*); o por pulverización a presión (*metalización*).

El cinc constituye una parte esencial de las conocidas pilas de tipo seco. El polo negativo está conectado, en el interior de la batería, a una barra de cinc, mientras que el polo positivo está conectado a una barra de carbono. Ambos están rodeados por una parte hecha de bióxido de manganeso y cloruro de amonio (un compuesto de nitrógeno, hidrógeno y cloro). La reacción entre el cinc y el cloruro de amonio forma un compuesto llamado *cloruro de cinc*: la pasta blanca que se ve salir de las pilas descargadas.

Aleaciones y compuestos El latón es la aleación más común del cinc, y está formado de cobre y de cinc en la relación de uno a uno. Es menos costosa que el bronce (aleación de cobre y estaño), ya que el cinc es más barato que el estaño y se utiliza en una proporción mayor. Por eso el latón se emplea muchas veces en sustitución del bronce.

Uno de los compuestos más importantes del cinc es el óxido de cinc, formado de cinc y oxígeno, que es empleado como pigmento en las lociones bronceadoras porque absorbe las radiaciones ultravioleta. Otros derivados del cinc se utilizan en la elaboración de colorantes, de conservantes para la madera, de pegamentos, colas, etcétera.

Papel biológico El cinc es un oligoelemento imprescindible para las plantas y es esencial para el funcionamiento adecuado del organismo humano, aunque en cantidades pequeñísimas. Participa en los sistemas enzimáticos y en el almacenamiento de la insulina por el organismo.

Véase **Aleación; Tabla periódica de elementos**

Cinematografía

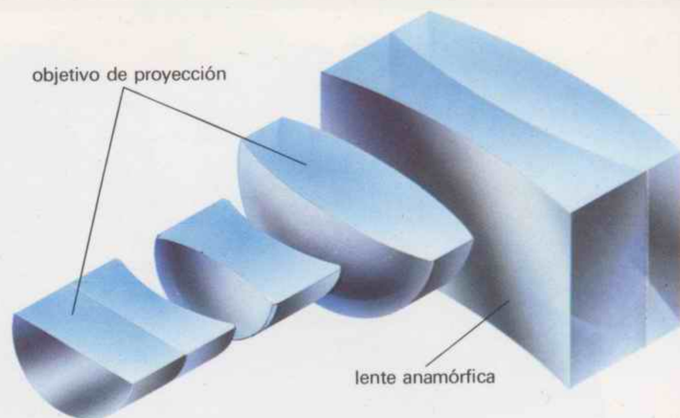
El espectáculo cinematográfico actual está fundamentado en el fenómeno denominado "persistencia de la visión en la retina". Fue en el año 1824 cuando el médico inglés Peter Mark Roget publicó su trabajo titulado *Persistencia de la visión y su relación con el movimiento*, en el que demostró que el ojo humano es capaz de retener en la retina una imagen durante un cierto tiempo después de que ésta haya desaparecido. Ahora bien, si en ese instante colocamos ante el ojo una nueva imagen, se superpondrá a la anterior, y la sensación será la de ver las dos simultáneamente. Para comprobar este fenómeno bastará con fabricarse un thaumatropo. Este aparato, aunque de nombre raro, simplemente es un círculo de cartón en el que dibujamos una figura en cada lado; pongamos, por ejemplo, en una cara un pájaro y en la otra una jaula. Atamos una cuerda en cada extremo del círculo, las retorcemos unas cuantas vueltas y tirando de ellas hacemos girar el disco rápidamente, de forma que veamos una y otra cara alternativamente. Nos sorprenderá ver que "mágicamente" el pájaro se ha metido en la jaula, de la que no saldrá hasta que el disco pierda velocidad. Siguiendo el razonamiento, cuando la segunda imagen la colocamos en el mismo lugar que la anterior desaparecida, y es ligeramente diferente en alguna de sus partes, el ojo humano sólo percibirá un leve cambio, y además, si el cambio es suficientemente rápido, no notará que durante un instante no había nada ante él. Ahora repitamos una y otra vez la misma operación, con cambios graduales de imagen a imagen y a una velocidad constante: el resultado será una ilusión óptica que nos hará ver con toda claridad un movimiento, tanto más perfecto cuanto más se ajuste la cadencia de las imágenes a la de un movimiento real.

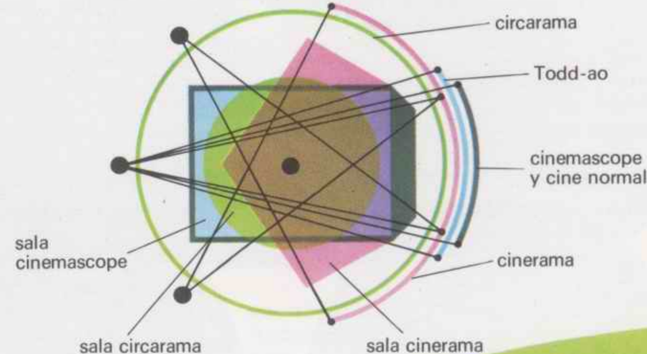
A partir de aquel año de 1824 en que Roget publicó su trabajo, surgieron infinidad de inventos, a cual más ingenioso, que rápidamente evolucionaron, ayudados por el avance progresivo de las ciencias y de la técnica fotográfica, hasta desembocar a finales del siglo en el sistema cinematográfico utilizado prácticamente hasta la fecha. Este sistema consiste básicamente en captar sobre una película fotográfica una serie continuada de vistas fijas, con una cadencia determinada (normalmente 24 imágenes por segundo), y que posteriormente se proyectan sobre una pantalla con la misma cadencia con que fueron tomadas.

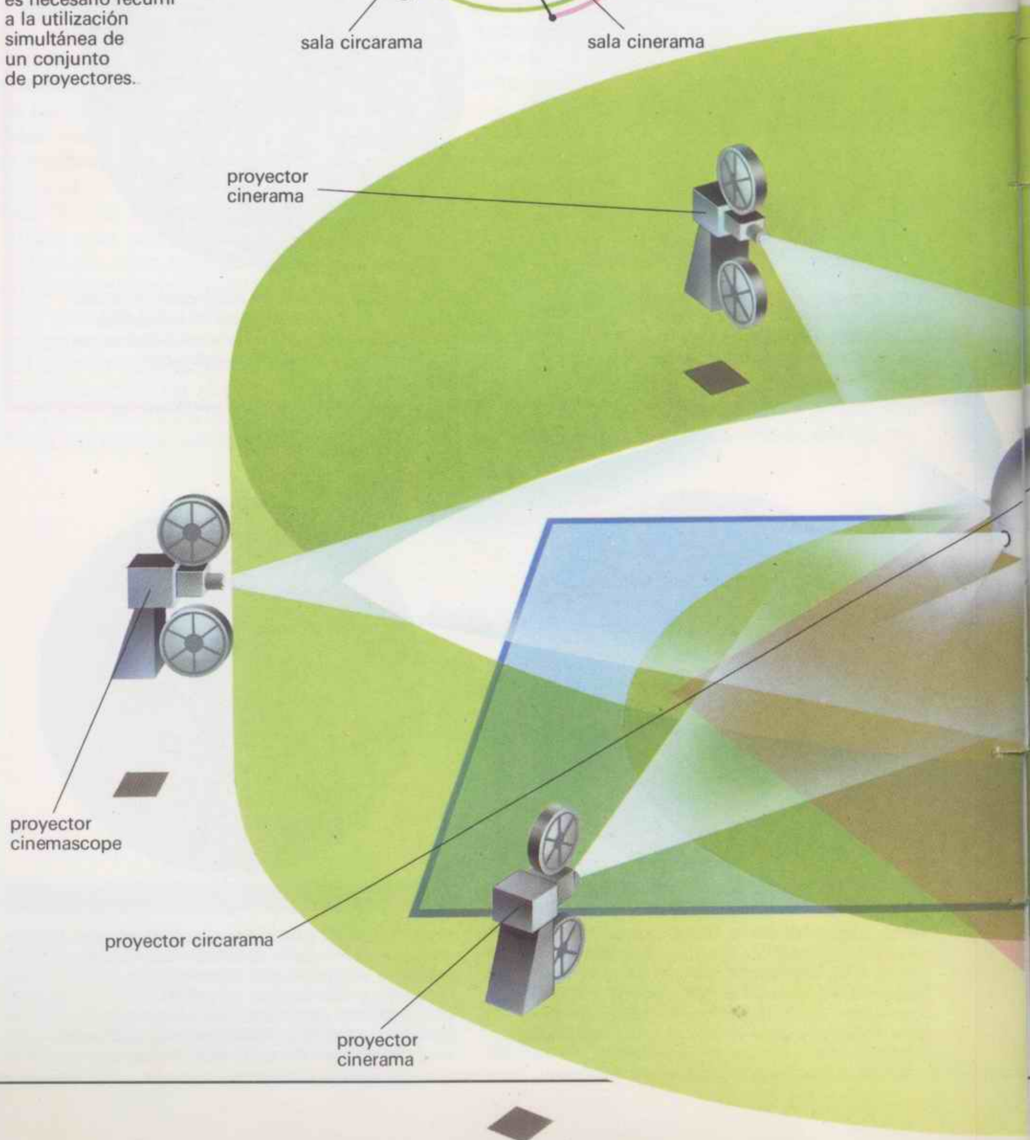
Actualmente la técnica cinematográfica comprende también —además de la toma de imagen y su proyección— el estudio de la película, el color y la grabación y reproducción sonoras.

Sonido Aunque hubo grandes intentos a finales del siglo pasado por conseguir acompañar la imagen con sonido, ello no fue posible hasta la invención en 1906, por Lee de Forest, del audión, una primera forma de válvula termoiónica ca-

Aun cuando la proyección cinematográfica haya sido en gran parte suplantada por la transmisión televisiva, el cine está vivo aún gracias a ciertas innovaciones. De estas, algunas contemplan la posibilidad de obtener efectos sonoros imposibles de realizar en casa; otras, en cambio, ofrecen la espectacularidad de efectuar proyecciones con ángulos visuales muy forzados. Dentro de ciertos límites, la lente anamórfica ha permitido alargar en sentido horizontal el campo que antes estaba limitado con las lentes clásicas. El objetivo anamórfico (a la derecha, compuesto por un objetivo tradicional, con lentes de curvatura esférica, más la lente anamórfica con caras de curvatura cilíndrica) alarga el ángulo de proyección en el cinemascope; para ángulos más amplios es necesario recurrir a la utilización simultánea de un conjunto de proyectores.



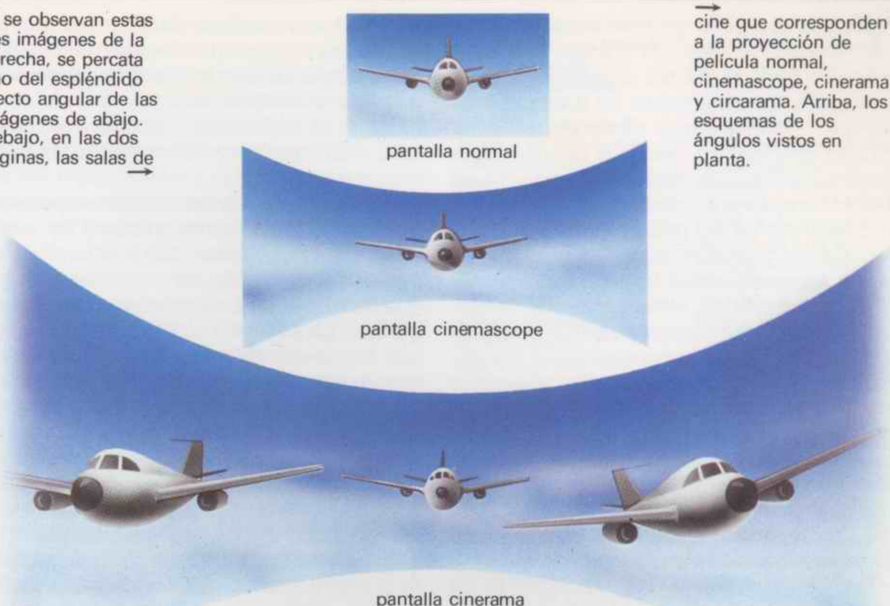




paz de amplificar el sonido para el público de una sala. La sincronización del sonido con la imagen fue difícil hasta la invención del oscilógrafo, tras la I Guerra Mundial, que permitió la conversión del sonido en haces de luz, registrables sobre el celuloide, junto a la imagen, con el método de la grabación óptica. La grabación magnética del sonido (que transforma los impulsos eléctricos en magnéticos, registrados en una cinta magnética unida a los lados de la película) es todavía más fiel que la grabación óptica. La producción de la película se volvió notablemente más fácil cuando se descubrió que no era necesario grabar inicialmente el sonido y la imagen sobre la misma franja de película y en la misma toma.

Actualmente es posible captar una secuencia visual y varios registros sonoros de la misma escena.

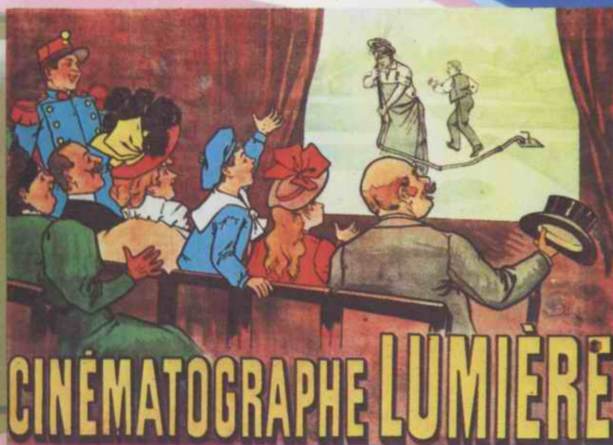
Si se observan estas tres imágenes de la derecha, se percata uno del espléndido efecto angular de las imágenes de abajo. Debajo, en las dos páginas, las salas de → cine que corresponden a la proyección de película normal, cinemascope, cinerama y circarama. Arriba, los esquemas de los ángulos vistos en planta.



Color El color de la película fotográfica se basa en el principio de que se puede obtener cualquier color mezclando rojo, verde y azul (los colores primarios). Con el sistema aditivo —el primero experimentado, hoy en desuso— se captan tres fotogramas: tras un filtro rojo, uno verde y uno azul; luego se transforman los fotogramas en diapositivas en blanco y negro, proyectándolas después separadamente a través del filtro adecuado y refundiendo las tres imágenes, quedando formado cada punto del fotograma por los tres colores primarios. El método sustractivo requiere un solo proyector, con evidente ventaja. Los colores no deseados de la película son sutraídos del blanco para obtener el color deseado. Por ejemplo: sustrayendo el rojo y el verde, resulta el azul. El tecnicolor es un notorio ejemplo de este tipo de película. Los recientes progresos en las películas de color comprenden las emulsiones ultrasensibles, utilísimas para captar escenas poco iluminadas.

Pantalla panorámica La mayor parte de los progresos cinematográficos se ha dirigido a aumentar el sentido del realismo y, frecuentemente, a dar al espectador la impresión de encontrarse en otro mundo, como sucede en las obras de cienciaficción, que disfrutan de cierto número de efectos especiales. El cinerama, puesto a punto en 1952, utilizaba tres proyectores y una pantalla curva para ofrecer un campo visual más realista (de 70 a 80 grados, en vez de los acostumbrados 40 grados), simulando así la visión periférica del ojo, con las bandas sonoras conectadas a altavoces distribuidos por toda la sala. Ya en 1955 los visitantes del parque de atracciones de Disneylandia podían "seguir" —o mejor dicho, eran rodeados por— una pantalla de 360 grados, con nuevos proyectores de 35 mm; el público quedaba situado en una plataforma baja en el centro de la sala. Con el cinemascope y la panavisión, una realización más reciente de la pantalla panorámica, se proyectan las imágenes con un mayor aumento horizontal que vertical, mejorando el ángulo visual del público. La imagen es tomada con un objetivo anamórfico, análogo al utilizado después para la proyección.

Es probable que los futuros desarrollos comprendan los progresos de la cinematografía estereoscópica, que da un efecto tridimensional proyectando imágenes ligeramente distintas para cada ojo del espectador. Otro paso hacia la reproducción de la vida real.



A la izquierda, un vistoso cartel con el que se invitaba a los espectadores de principios de siglo a acudir a las proyecciones cinematográficas.

Véase **Animación cinematográfica**

Cinta transportadora

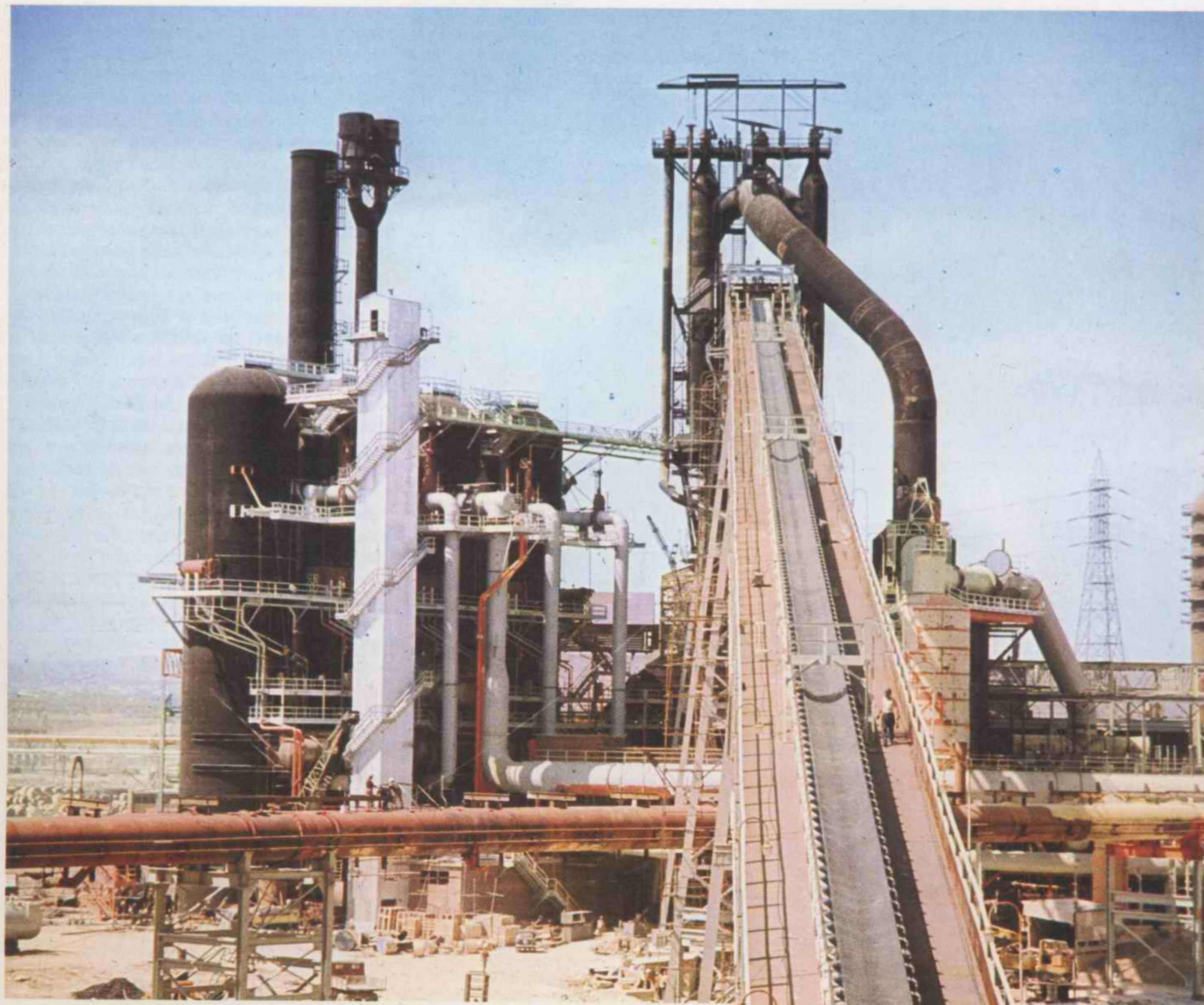
Ya los antiguos griegos sabían que el recorrido más corto entre dos puntos es la línea recta. No sabemos en cambio quién fue el primero en darse cuenta de que la manera más eficaz de trasladar cargas grandes es servirse de una cinta transportadora. De cualquier modo, ya en 1875 Oliver Evans construyó en Delaware (EE UU) una de las primeras instalaciones totalmente automatizadas —un molino—, sirviéndose de cintas transportadoras.

En la actualidad, estas cintas nos son familiares: así, colocamos nuestras compras sobre ellas en los supermercados, las vemos transportando sobre sí materiales de construcción en las obras, subimos a ellas cuando usamos las escaleras mecánicas en los aeropuertos o grandes almacenes, etc. Pero el uso principal de las cintas transportadoras está en la industria. Desde 1912, cuando Henry Ford las instaló en su primera cadena de montaje de automóviles, estas cintas se han constituido en símbolo de la producción en serie. Son utilizadas en todas las fases de la fabricación y distribución, transportan el carbón a los vagones, los residuos del procesado a los montones de escoria, el grano a los silos, y los paquetes desde los almacenes a los muelles de embarque.

Algunas industrias, como la de extracción, difícilmente podrían existir sin ellas.

Componentes de las cintas transportadoras Una cinta transportadora es esencialmente una "pista" cuya superficie se mueve y en donde las personas o cosas que deben ser transportadas permanecen quietas. En su forma elemental consiste en una "cinta sin fin" en anillo, colocada sobre un armazón con dos rodillos en los extremos, y un tambor motor. El material cargado en un extremo es llevado hasta el punto en que la cinta gira en torno al rodillo para volver a la posición inicial. De este modo la mayor parte de los materiales voluminosos pueden ser desplazados a distancias considerables horizontalmente o sobre planos inclinados hacia arriba o hacia abajo, con un flujo continuo y regular. La cinta transportadora sencilla más larga del mundo, que se encuentra cerca de Uniontown, en Kentucky, tiene 14,5 km de largo y puede transportar hasta 140.000 toneladas de carbón a la semana. El sistema de varias cintas más largo, que consta de once de ellas, enlaza una mina de fosfatos cercana a Bu-craa y el puerto de El Aaiún, en el ex-Sáhara Español, a 100 km de distancia.

Existen tantos tipos de cintas transportadoras como variedades hay de material transportado. La misma cinta puede estar hecha de tejido, goma, plástico, cuero o metal. En las industrias químicas, por ejemplo, cuyos materiales son frecuentemente muy corrosivos y son tratados a alta temperatura, las cintas están construidas habitualmente de acero o de hilo de metal trenzado. Para trabajos pesados, la cinta puede estar constituida por una serie de placas o paneles, engarzados por los ángulos para poder ser girados lateralmente o arriba y abajo. Un ejemplo típico son las cintas transportadoras de equipajes en los aeropuertos, que hacen girar las maletas hasta que los propietarios las retiran. En la industria estos tipos de cinta



CISIA, Milán

tienen más o menos el aspecto de las "orugas" de un carro de combate, y transportan materiales pesados o abrasivos a velocidades que alcanzan incluso los 30 metros por minuto, lo que significa que pueden llevar 300 toneladas por hora.

Otros componentes El armazón puede consistir en una serie de rodillos de madera (lecho de rodillos) o en una hoja de metal (lecho de deslizamiento). Las cintas transportadoras que tienen como función la de llevar materiales compuestos por pequeños fragmentos, como el carbón, la arena, la grava o las escorias metálicas, tienen rodillos especiales llamados *tendedores* que dan a la cinta una forma cóncava para minimizar las pérdidas a los lados. Los "lechos de deslizamiento" permiten un transporte reposado y regular, pero, por causa de su mayor rozamiento, consumen más energía. El motor que acciona la cinta puede ser conectado directamente a uno de los rodillos de los extremos, o a una cadena que gira engranada en una rueda dentada.

Para transportar cargamentos sobre un plano inclinado, el ángulo máximo permitido es de 28 grados respecto al plano horizontal. Con ángulos mayores, la gravedad hace resbalar hacia atrás el material; pero el problema puede ser resuelto fácilmente recurriendo a cubetas o escalones aplicados sobre la cinta. En 1892, Jesse Reno, un inventor americano, patentó una cinta transportadora con ejes acanalados y costillas de goma que se movía sobre un plano inclinado. Un modelo mejorado fue presentado en la Exposición de París de 1900; allí la primera "escalera mecánica" práctica recibió el nombre con el que todavía hoy la conocemos.

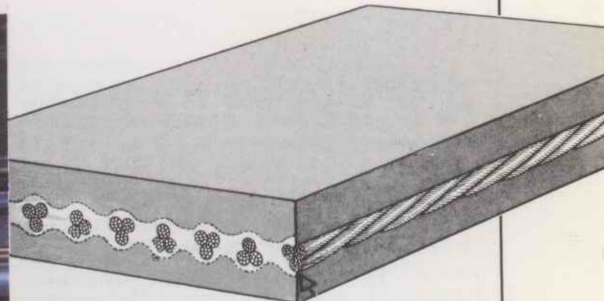
Sin duda ulteriores innovaciones técnicas, como las aceras móviles de los aeropuertos, extenderán todavía más el uso de las cintas transportadoras; pero es muy improbable que el mecanismo base de funcionamiento pueda ser mejorado o sustituido.

Véase **Escalera mecánica**

En la página anterior, carga de un alto horno. Este sistema de transporte es eficaz también para materiales pesados y ásperos en ambientes contaminados por polvo abrasivo. Un estudiado diseño de nervios transversales permite levantar los materiales, a pesar de la fuerte pendiente requerida por el notable desnivel. En esta página, abajo, a la izquierda, preparación de las cuerdas del armazón de una cinta, que será seguidamente cubierta de goma. En este proceso el armazón de la cinta es sólo longitudinal y en fibra textil sintética. Cuando interesa una fuerte resistencia a impactos, se dispone también un segundo armazón transversal. Si en cambio es necesaria una fortísima resistencia longitudinal y, sobre todo, una deformación de alargamiento de modesta entidad, se recurre al armazón de metal. A su derecha, sección de una tela armada en cuerda de acero. Esta es necesaria para los tramos más largos. Debajo, tramo de una cinta de gran longitud utilizada para transporte de material de excavación a gran distancia. Es posible realizar transportes de ingentes cantidades de materiales a distancia incluso de decenas de kilómetros. Esta cinta está aplicada sobre un sistema de soporte de gran resistencia.



SAIAG, Turín







El elemento principal en la construcción de una cinta transportadora es el grupo de rodillos sobre los que apoya la cinta. Los tres rodillos de arriba sostienen la cinta, dándole también ángulo para mantener recogido el material; los de abajo sirven para el regreso en vacio.

SAIAG, Turín - Gnecchi e Donadodi S.p.a., Lecco



Dugomrulli

Circonio

NOMBRE	Circonio
SIMBOLO	Zr
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del árabe *zargum*, color de oro
N. ATOMICO	40
PESO ATOMICO	91,22
ESTADO NATURAL	en los minerales circón
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	M. H. Klaproth (1787)
PRODUCCION	fusión del circón con carbón, cloruración y tratamiento con magnesio metálico
P.f. (°C)	1.850
P.eb. (°C)	3.580
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	6,49
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal usado en reactores nucleares, en tubos electrónicos, en aparatos químicos, y sus compuestos se usan en la industria cerámica y como material refractario

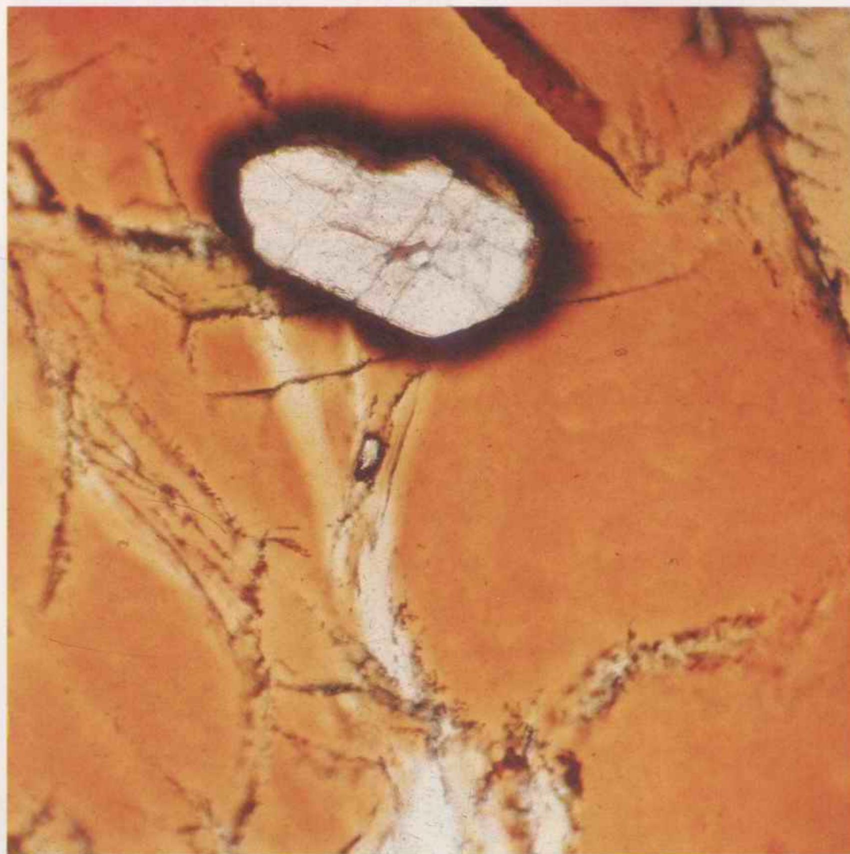
Aunque en 1914 Lely y Hamburger lograron aislar el circonio en estado puro, hasta la llegada de la era nuclear se prestó muy poca atención a este elemento. Después, gracias a la energía nuclear, se ha convertido en un material importante para la ingeniería, puesto que sus átomos no son afectados por los neutrones liberados en un reactor nuclear. El circonio se emplea también en las válvulas electrónicas por su elevada capacidad de absorción de gases.

El circonio es un miembro del grupo de elementos que forma la *familia del titanio*. Una familia de elementos es un grupo cuyos miembros presentan propiedades químicas similares y están situados en la misma columna del sistema periódico. El sistema periódico, desarrollado en el siglo XIX por el científico ruso Dimitri Mendeleiev, es una clasificación de los átomos según su estructura atómica, constituida por una tabla en la cual los elementos se sitúan en filas y columnas. Sobre esta tabla los miembros de la familia del titanio se encuentran en la cuarta columna por la izquierda. En posición más alta está el titanio, y por debajo de él se encuentran el circonio y el hafnio.

Una de las semejanzas entre los mencionados elementos reside en el hecho de que son muy difíciles de aislar, ya que manifiestan una fuerte afinidad por los gases comunes, como el oxígeno, el hidrógeno y también el nitrógeno —que generalmente es inerte—, que se encuentran en la atmósfera. Para obtener dichos elementos se emplea un método, llamado *proceso Kroll*, mediante el cual éstos se aislan en una atmósfera compuesta de gases inertes, como el argón y el helio. Particularmente los compuestos químicos del circonio y del hafnio son tan parecidos, que es muy difícil separarlos y obtener una muestra pura de uno de ellos.

Sin embargo, es necesario obtener el circonio puro si se quiere usar, por ejemplo, en los reactores nucleares. Con este objeto se somete a una separación selectiva con el empleo de disolventes orgánicos o por precipitación fraccionada con otros métodos. Circonio en forma muy pura y compacta se obtiene descomponiendo vapores de yoduro por medio de un alambre de tungsteno calentado eléctricamente por encima de los 500 °C: el circonio se deposita sobre el alambre, mientras que el yodo se recicla para la formación del nuevo yoduro.

Aplicaciones en los reactores nucleares Un reactor nuclear produce un enorme número de neutrones. La mayor parte de ellos atraviesa el material circundante como el polvo atraviesa una raqueta de tenis, puesto que los átomos que constituyen la materia están en gran parte vacíos. Existen, sin embargo, neutrones que consiguen golpear los núcleos de algunos átomos, siendo absorbidos por ellos. Los elementos estructurales de un reactor nuclear, como las partes que contienen el combustible y que forman el alma del reactor, deben ser fabricados con un material lo más "transparente" posible a los neutrones. Este requisito es necesario por





El circón es el principal mineral para la extracción del circonio. Químicamente es un silicato de circonio, y se encuentra como monocristal (al lado), pero más corrientemente como producto de la segregación magmática en los granitos. Sobre estas líneas vemos una sección de granito con un cristal de circón, observada al microscopio con luz polarizada. El circón es generalmente muy radiactivo y emite partículas alfa ionizantes que son frenadas por un espesor relativamente sutil de las rocas circundantes. En la imagen de arriba, el circón incrustado en una lámina de biotita ha ennegrecido toda la parte de mica con la cual estaba en contacto, debido a la destrucción de su retículo cristalino por las partículas alfa. El circón constituye el 0,022% de la corteza terrestre; está ampliamente difundido en casi todas las rocas eruptivas y se encuentra concentrado en depósitos aluviales. Su presencia, además, ha sido detectada en algunas estrellas, en el Sol y hasta en los mismos meteoritos.

diversos motivos. Los neutrones se utilizan para hacer que la reacción en cadena continúe, y una sustancia que absorba neutrones contribuye a "debilitar" la reacción. En segundo lugar, cuando un átomo absorbe un neutrón, sufre una transformación fundamental: el núcleo puede hacerse radiactivo, y por tanto emitir partículas, y a través de este proceso transformarse en otro tipo de átomo. Un material que absorbe neutrones se deteriora rápidamente bajo el bombardeo neutrónico que tiene lugar en un reactor nuclear.

Se puede pensar que, para ser absorbido por un átomo, un neutrón debe golpear una pequeña superficie, llamada *sección de choque de absorbimiento* del neutrón. La dimensión de esta superficie varía de un elemento a otro. Se mide en unas unidades llamadas *barn* (en inglés, "henil"): un barn es igual a 10^{-24} centímetros cuadrados. Se dice que el nombre deriva del hecho de que golpear un área de aquella dimensión con un neutrón no es más difícil de lo que sea para una persona golpear con una piedra la pared de un henil.

Los átomos de circonio tienen una sección de choque para neutrones muy baja, cerca de 0,18 barn para neutrones que viajan a la velocidad típica de los reactores nucleares. En definitiva, estos átomos son muy difíciles de golpear, y esto hace que el circonio sea un excelente material estructural para los reactores nucleares. Debido a esto, es importantísimo obtener circonio puro sin hafnio, ya que este último elemento —con el que siempre está— posee átomos mucho más fáciles de golpear (tienen una reacción de choque para neutrones de 115 barn).

Otras aplicaciones Además de su baja sección de choque para neutrones, el circonio es un buen material estructural por su resistencia a las altas temperaturas y a la corrosión. Gracias a su afinidad con los gases atmosféricos, es a menudo utilizado en el interior de los tubos de vacío como "limpiador", esto es, como material que reacciona con los gases residuales en el tubo y permite eliminarlos. Se usa en metalurgia para eliminar en los aceros oxígeno, azufre, nitrógeno, y para aumentar la dureza y la resistencia al uso y a la corrosión. Se emplea también como catalizador en diversas reacciones. Algunos compuestos del circonio tienen aplicación en la industria textil para la preparación de hidrorrepelentes; otros se emplean en la obtención de vidrios especiales, de pigmentos, de abrasivos, de materiales refractarios, y en la fabricación de cerámica, lacas, barnices, así como de desodorantes e impermeabilizantes.

Véase **Fusión termonuclear**

A la izquierda, estructura de recristalización después de tratamiento térmico a 750 °C; aleación de circonio que contiene el 1,5% de estaño y el 0,3% globalmente de hierro, cromo y níquel. Además de emplearse como componente de aleaciones, el circonio es utilizado en metalurgia para eliminar de los aceros el oxígeno, azufre y nitrógeno, y para aumentar su dureza, resistencia al uso y a la corrosión. Se utiliza también como catalizador en distintas reacciones. Algunos de sus compuestos son empleados en la fabricación de cerámicas.

CISE, S.p.A. Segrate - Milán



CISE, S.p.A. Segrate - Milán

A la derecha, haz de vainas de elementos combustibles para reactores de agua; aleación zircalloy-2. Hasta hace algunos decenios, el circonio era considerado un metal de escasa importancia por sus pocas aplicaciones; actualmente, debido a su bajo poder de absorción de neutrones, es utilizado para recubrir las barras de combustible de los reactores nucleares. Para este empleo es necesario que esté en estado purísimo; en particular, que esté separado del hafnio, con el que aparece unido en los procesos de extracción.

Circuito eléctrico

Hacia la mitad del siglo XVIII, algunos marineros británicos hicieron un descubrimiento desagradable en los ríos de América del Sur.

Los nativos de aquella zona presentaron a los europeos un pez, escurridizo y con forma de serpiente, que ocasionaba una sacudida dolorosa a cualquiera que consiguiera agarrarlo. Cuando llegaron algunos ejemplares a Inglaterra, los estudiosos descubrieron que la descarga se producía sólo cuando se tocaba la parte superior y la inferior de la cabeza del pez. Parecía que el pez podía generar corriente eléctrica y descargarla a través de estas dos zonas de su cuerpo. De esa forma el pescador, al sujetar el pez en la forma descrita, se convertía en conductor de la corriente, que después de recorrerle volvía al pez.

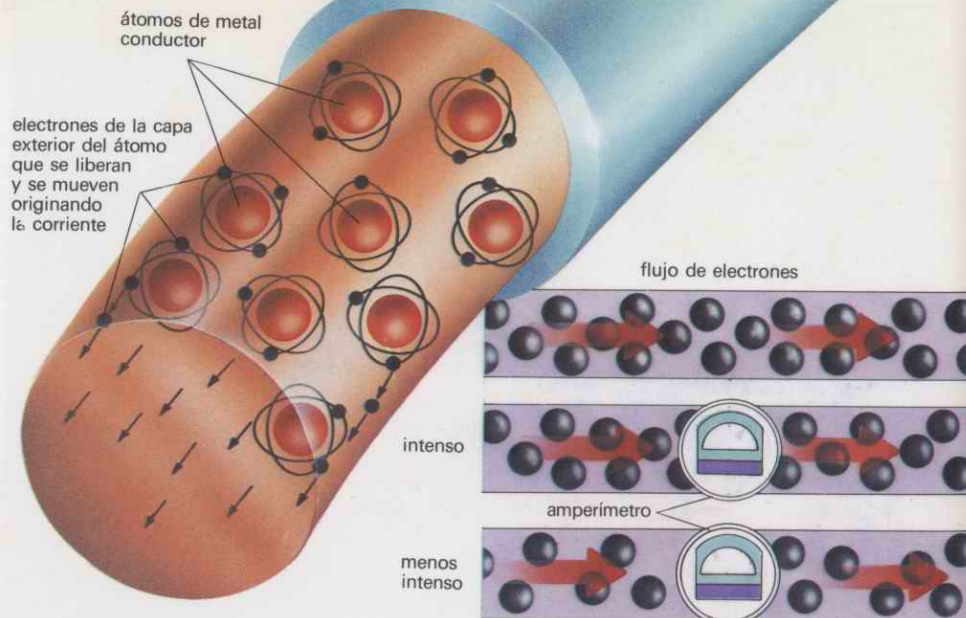
Los biólogos llamaron al pez *sirio electrónico*, y tal anguila junto con su "víctima" forman uno de los primeros ejemplos de corriente eléctrica incontrolada.

La electricidad es un movimiento de *electrones*, partículas de carga eléctrica negativa que giran alrededor del núcleo de los átomos. En determinadas condiciones y dentro de los materiales conductores, los electrones salen de su órbita y pasan de un átomo a otro. Cuando circulan entre los átomos millares de electrones por segundo, se crea una *corriente*, igual que el agua que corre por un río.

Definición de circuito Un circuito eléctrico se puede definir como un recorrido controlado de electrones desde una fuente a un punto de utilización y vuelta. Los circuitos eléctricos tienen muchos grados de complejidad: desde el simple cable que une una lamparita con una pila, a la compleja instalación de potencia formada por un generador, con gruesos cables y dispositivos adicionales que proporcionan energía eléctrica a toda una población.

Dejando a un lado las complicaciones, los elementos esenciales en un circuito eléctrico son: una *fuente* de electricidad, un *conductor*, y un *punto de utilización*.

Fuentes Una fuente de electricidad se puede comparar con la bomba que mueve el agua en la fuente ornamental de un jardín. Igual que ésta, la fuente de electricidad impulsa el flujo de electrones con la fuerza necesaria para que circule por el circuito. Las fuentes crean electricidad a partir de otras formas de energía; es el caso habitual de los generadores, que a través de los principios básicos de conversión de energía electromagnética transforman energía mecánica en energía eléctrica. De forma genérica, un generador es una máquina reversible que cuando funciona proporcionando energía mecánica a partir de energía eléctrica se dice que actúa como *motor eléctrico*. A la capacidad que tiene una fuente de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos del circuito se le llama *fuerza electromotriz* (fem) y se mide en *voltios*.



De la misma manera que en la bomba hay que introducir agua continuamente, se tienen que aportar electrones libres para permitir que la corriente eléctrica fluya, lo que se consigue cerrando el circuito.

Conductores Una vez que se ha asegurado la producción de electrones libres, es necesario disponer de un recorrido adecuado por el que pueda circular la corriente que procede del generador, de forma parecida a como circula el agua de un río por su cauce.

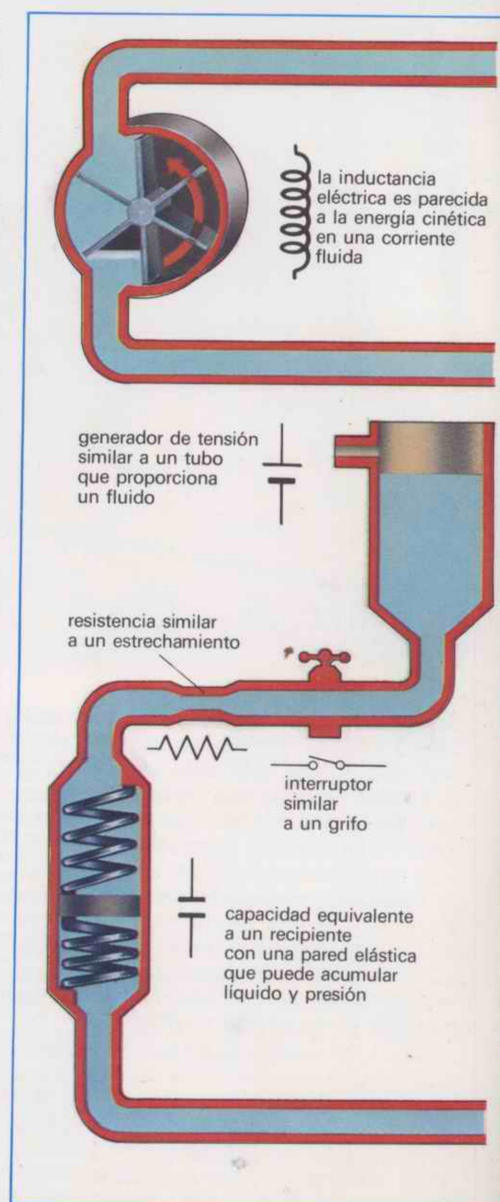
En los primeros años del siglo pasado, George Simon Ohm estudió los principios de resistencia y conductividad. Igual que cualquier trozo de tela ofrece una cierta oposición al paso del aire, cualquier material presenta resistencia al paso de corriente eléctrica a través de él.

La resistencia eléctrica puede variar mucho, y los materiales que oponen menor resistencia —como la plata, el cobre o el latón— son los mejores conductores; el hilo de cobre es muy utilizado porque, a pesar de que el cobre presente algo más de resistencia que la plata, es un material más abundante y económico.

Otros materiales ofrecen mucha resistencia, de ahí que se utilizen como aislantes, es decir, para envolver y separar del exterior el material conductor.

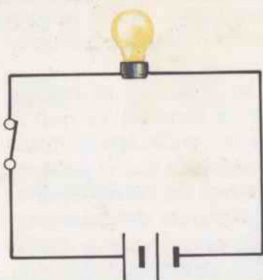
Puntos de utilización Luces, motores, electrodomésticos, radios, tocadiscos y otros aparatos electrónicos son algunos de los dispositivos que necesitan energía eléctrica para funcionar. Para conectar un dispositivo (también llamado *carga*) a una fuente de electricidad se utilizan dos hilos de cobre, de forma que se tenga un circuito cerrado y la corriente pueda volver a la fuente.

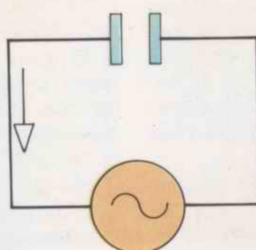
En los circuitos habituales, a 125 ó 220 voltios, la línea de vuelta, el neutro, es de color azul, mientras que la línea activa, que

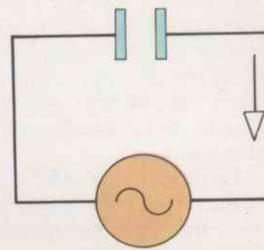


lleva la corriente de la fuente, es de color marrón o negro. Las instalaciones modernas tienen un tercer conductor de protección, la "toma de tierra", de color amarillo-verde. La toma de tierra está conectada a la caja del aparato, de manera que si existe dentro del mismo alguna derivación, la corriente va a tierra por el hilo correspondiente y no a través del usuario.

Otros dispositivos de protección Disyuntores y fusibles se diseñan para proteger el circuito de cualquier malfunción o anomalía. Si se sobrecarga un circuito o se produce un cortocircuito (desviación accidental de la corriente por un camino de resistencia pequeña), el hilo del fusible se funde y los disyuntores saltan mientras no se corrija la situación.

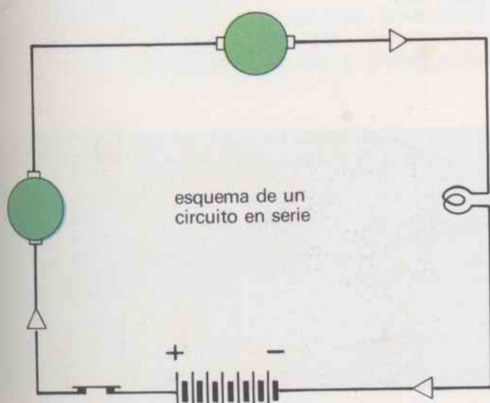


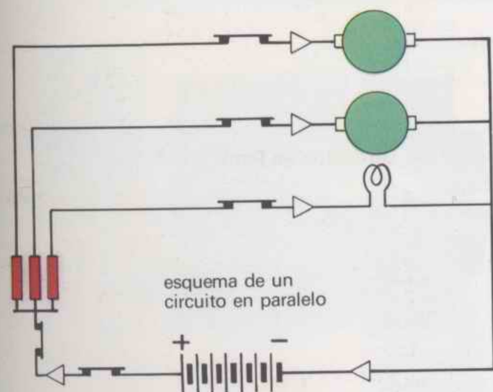




Arriba, circuito eléctrico alimentado con corriente continua. Se ha instalado una resistencia que se opone al movimiento de las cargas eléctricas. A la derecha, en cambio, el circuito está alimentado con corriente alterna y se ha conectado un condensador: sus armaduras se cargan alternativamente con signo opuesto, como indican las flechas. Bajo estas líneas, circuitos en serie y en paralelo; y a la izquierda, los esquemas que representan la realización correspondiente de la derecha. De los dos, el de arriba es el circuito en serie: todos los usos de la corriente se tienen que hacer a la vez y un solo interruptor enciende y apaga todas las cargas. La tensión del generador se divide proporcionalmente a la resistencia de cada aparato. Debajo, el circuito en paralelo: cada aparato se puede utilizar independientemente.

Véase **Electricidad**





aparatos eléctricos conectados en serie

los mismos aparatos eléctricos conectados en paralelo

En la página anterior, arriba y a la izquierda, cilindro representando un conductor: en su interior los átomos pueden perder un electrón, que podría moverse libremente. Al lado está representado el movimiento de las cargas entre los átomos, que puede ser más o menos intenso, como indica el amperímetro. Este movimiento conlleva además un aumento de la temperatura. A la izquierda de estas líneas el modelo hidráulico de la corriente eléctrica en el caso de la inductancia (arriba): el agua se encuentra un molinillo que, una vez en movimiento, le hace tener una cierta inercia, lo que se parece al caso en que → la corriente eléctrica se encuentra una inductancia. Debajo, el modelo de un generador (depósito), un interruptor (grifo), una resistencia (estrechamiento) y una capacidad (recipiente con el pistón y los muelles).

Circuito electrónico

Los circuitos de una pequeña radio de transistores y los de un gran ordenador que puede realizar centenares de funciones al mismo tiempo se basan en idéntico principio: los componentes de un circuito electrónico regulan el comportamiento de los electrones que circulan por el sistema.

Estos componentes operan de muchas formas, pero los sistemas formados por ellos que más se utilizan realizan las siguientes funciones:

amplificación, o sea, aumento del valor de una tensión, corriente o potencia;

rectificación, es decir, cambio de una corriente alterna a una corriente continua;

oscilación, esto es, variación con el tiempo de una tensión, corriente o potencia, que prácticamente es la conversión de una corriente continua en una corriente alterna.

Los componentes electrónicos se montan sobre las llamadas *placas de circuito impreso*, que tienen las conexiones necesarias para formar un circuito individual, es decir, una parte de lo que formará un circuito más complejo. Estos circuitos suelen tener algunos componentes montados fuera de la placa, como los correspondientes a los controles de volúmen o de sintonía, debido a que estas funciones han de realizarse desde el exterior por el usuario.

Los componentes del circuito La válvula electrónica se puede considerar el primer dispositivo electrónico inventado.

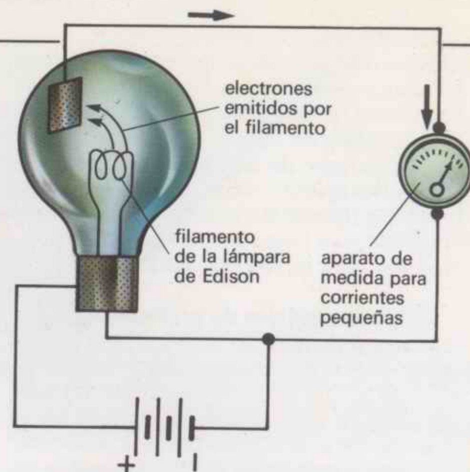
En 1883 Thomas Edison descubrió que una pequeña cantidad de electrones podía pasar a través del vacío desde un *filamento calentado* (la fuente) hasta un *electrodo metálico* (un terminal conductor o *placa* colocada en el tubo de vacío), recorrido que sólo se hacía en este sentido. Ese flujo unidireccional era independiente de que el interior del tubo estuviera prácticamente libre de gas o vapor residuales (*tubo de vacío*) o de que hubiera una cierta cantidad de gas que habría tenido que interaccionar con la corriente (*tubo lleno de gas*).

La función de esta válvula es equivalente a la del *diodo* actual de estado sólido, que permite el paso de la corriente en un sentido pero no en el contrario.

En 1906 otro inventor norteamericano, Lee de Forest, descubrió el *triodo*, válvula electrónica en la que se varía el flujo de electrones entre *cátodo* (fuente) y *ánodo* (receptor) en función de la tensión aplicada a un tercer electrodo o *rejilla*, que se coloca físicamente en medio de los otros dos elementos.

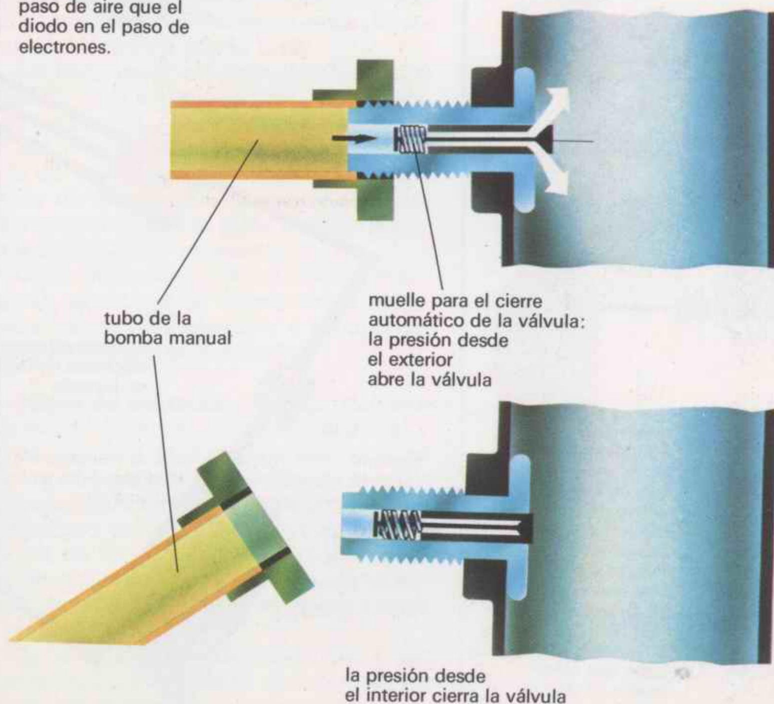
El triodo tiene su principal utilización como amplificador de tensión, ya que la tensión aplicada a la rejilla aparece aumentada en una resistencia por el paso de la corriente que circula de cátodo a ánodo. El triodo es el precursor del *transistor*, que, aunque se basa en principios distintos, tiene también su principal aplicación como amplificador de tensión.

Entre los componentes pasivos están los *condensadores*, que se utilizan por su oposición a los cambios bruscos de tensión y que están formados por dos placas conductoras separadas por material aislante (*dieléctrico*). Las bobinas o *autoinducciones* impiden los cambios rápidos del valor de la corriente, haciendo que ésta tenga una cierta inercia. Las *resistencias*, como su nombre indica, se oponen al paso de corriente a través de ellas, produciéndose disipación de energía en forma calorífica. Las células fotoeléctricas son resistencias variables, que dependen de la luz que reciban. Los *materiales piezoeléctricos*, como el cuarzo, producen



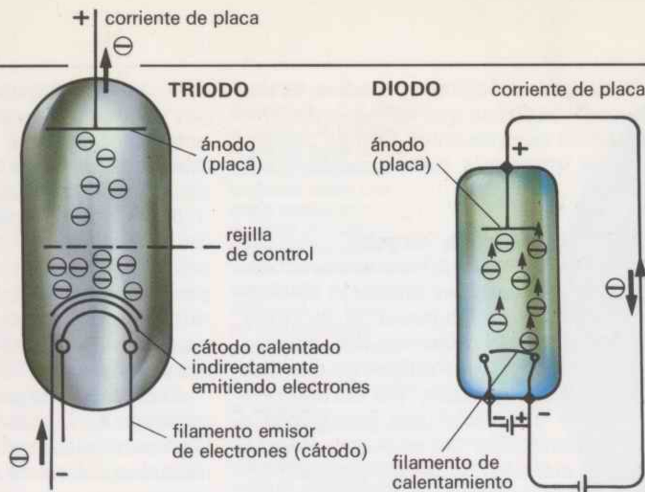
A finales del siglo pasado se descubrió que el filamento de una lámpara emitía electrones que se podían recoger en un electrodo, llamado *placa*: en ese momento nació el diodo. Después se diseñaron tubos para aplicaciones concretas, como el triodo y el diodo (página siguiente, arriba). En el primero, la rejilla, situada entre cátodo y ánodo, acelera los electrones que emite el cátodo. Con el potencial de la rejilla se puede regular el paso de electrones, y por tanto la corriente. Al diodo (derecha) le falta la rejilla y tiene un funcionamiento más simple.





La válvula de un neumático tiene los mismos efectos en el paso de aire que el diodo en el paso de electrones.

Una gran parte de los conocimientos aplicados a la fabricación de circuitos electrónicos de válvulas procede de los experimentos de descargas en gases en el siglo XIX. En el centro de ambas páginas, un tubo de descarga de gas enrarecido. A través de experiencias como la descarga eléctrica a alta tensión se llegó en el siglo pasado al concepto de la existencia de la partícula electrón.



una tensión cuando son deformados y se deforman cuando se les aplica una tensión, por lo que al hacerles vibrar generan una tensión alterna de frecuencia constante.

Bloques de un circuito Los sistemas electrónicos se pueden dividir en bloques, que son circuitos que realizan una función determinada. Así, tenemos bloques que son amplificadores, rectificadores, osciladores, sumadores o multiplicadores. Otros ejemplos de bloques son los moduladores y los demoduladores, que se utilizan en la transmisión de señales eléctricas de todo tipo.

Una señal de alta frecuencia, llamada *portadora*, se modula haciendo que varíe su amplitud, su frecuencia (períodos por segundo) o su fase (relación de tiempo con el principio de la señal) de forma proporcional a la señal que se quiere transmitir. La señal modulada se transmite, bien por cable o por radio, hasta el receptor, donde se desmodula para volver a obtener la señal original. Uno de los bloques del receptor, llamado *demodulador*, realiza esta función.

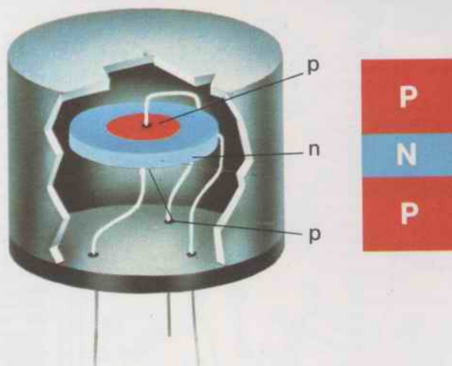
Circuitos digitales Los circuitos digitales almacenan y procesan información codificada en base a determinados niveles de tensión. Una forma de representar los dos números binarios (0 y 1) es asignando la tensión 0 v al cero y 5 v al uno; debido a que no siempre se tienen valores de tensión exactos, cualquier valor entre 0 y 2 v se interpreta como 0 lógico, y cualquier valor entre 3 y 5 v como 1 lógico. Los circuitos digitales funcionan, por tanto, con dos niveles de tensión, por lo que necesitan menos ajustes, lo que se traduce en facilidad de diseño y abaratamiento del circuito.

Véase **Circuito impreso; Circuito integrado; Circuito lógico; Electrónica**

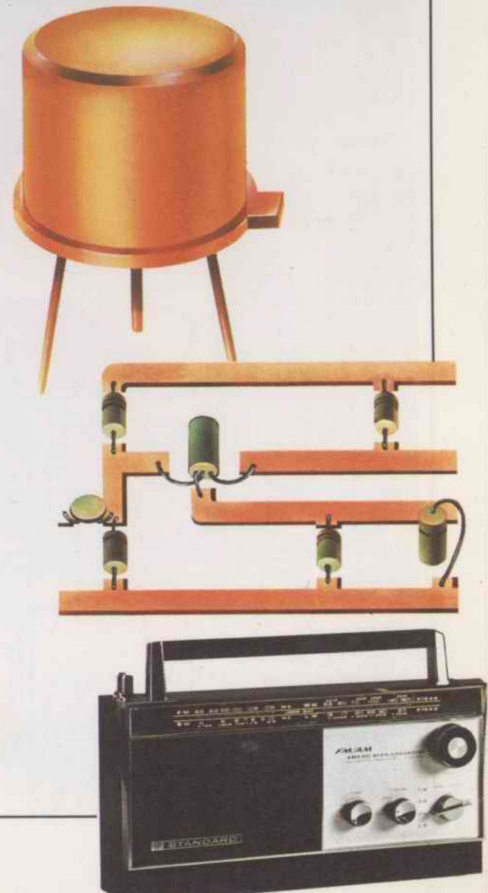




A la derecha, el esquema de un transistor bipolar, que se puede comparar con un grifo (arriba). El parecido entre ambos está en que el flujo, de agua en uno y de electrones en el otro, se puede regular (girando el pomo del grifo, e introduciendo una corriente en el transistor).



Sobre estas líneas, un transistor, que ha sustituido al triodo en casi todas las aplicaciones. Las dimensiones del dispositivo básico son microscópicas, dependiendo de la potencia que pueda admitir, pero tiene que estar protegido del exterior por una cápsula, que es en realidad la que ocupa espacio. Estas pequeñas dimensiones permiten colocar miles de transistores en unos pocos milímetros cuadrados, en los circuitos integrados. Se puede distinguir un transistor de un diodo observando que el primero tiene tres patillas y el segundo tiene dos. Aquí arriba, esquema de un transistor con los dos tipos de semiconductor (*p* y *n*) con los que están realizadas las tres partes: emisor, base y colector, que equivalen a cátodo, rejilla y placa en el triodo. A la derecha, un circuito con transistores.



Circuito impreso

Hasta casi finales de los años cuarenta del presente siglo los componentes electrónicos estaban generalmente conectado a circuitos (recorridos conductivos para flujos de corriente) mediante un proceso llamado "sistema de hilos punto-a-punto". Se utilizaban delgados conductores para llevar la corriente de un punto a otro del circuito, es decir, de uno a otro componente.

Una mayor evolución de la electrónica tuvo su comienzo en los citados años cuarenta con el desarrollo de los componentes de estado sólido: diodos o transistores realizados en material sólido, como el silicio y el germanio, capaces de realizar las mismas funciones que los componentes de las válvulas termoiónicas tipo diodo o triodo.

Como los dispositivos semiconductores consumen menos potencia que sus equivalentes en las válvulas termoiónicas, los otros componentes del circuito (resistencias, bobinas y condensadores) ya no necesitan tanta corriente como en el caso de los circuitos con válvulas. Consecuentemente, también su tamaño ha podido reducirse. Casi todos estos componentes se han hecho más pequeños y duraderos que los empleados en los circuitos a válvulas; utilizando estos elementos se ha podido diseñar y utilizar a gran escala circuitos más complejos. Sin embargo, faltaba algo: un medio eficaz que conectara entre sí los distintos componentes de un circuito. El sistema de cables punto-a-punto era demasiado incómodo y difícil de usar; basta pensar en la dimensión y el número de componentes de un circuito, en la menor necesidad de corriente de los componentes de estado sólido y en los recorridos más complejos de los circuitos electrónicos. La solución consistió en "imprimir" los circuitos: pegando esquemas planos de material conductor (por ejemplo, delgadas tiras de cobre) sobre una placa aislante y dejando espacios vacíos en los puntos en los que deben colocarse los distintos componentes. Dichos componentes se unían a la placa mediante soldaduras.

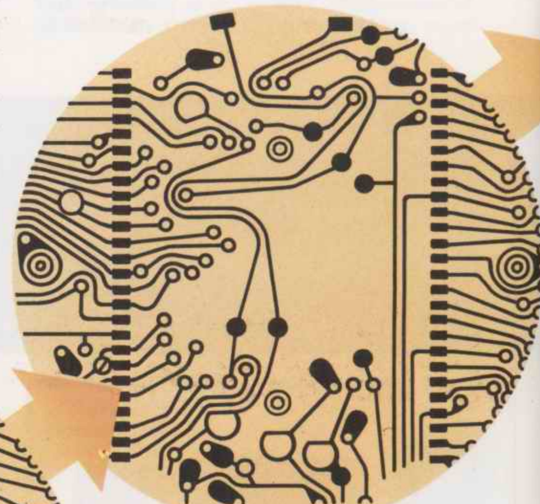
Cómo imprimir un circuito Actualmente los circuitos impresos son realmente la base de cualquier producto electrónico. Las placas de los circuitos impresos, e incluso los componentes del circuito, pueden ser fabricados utilizando distintos procedimientos gráficos, que normalmente incluyen una reducción fotográfica y una miniaturización del esquema del circuito. Los métodos utilizados aisladamente o en combinación comprenden la serigrafía, la fotoincisión, la incisión mecánica y el placado. El método de placa seca o gelatina, proceso sencillo con sistemas iguales a los de la mayor parte de los procesos industriales, es muy utilizado por los aficionados. Este proceso consta de seis etapas.

1) Se reduce una fotografía nítida del dibujo del circuito hasta el tamaño deseado para la propia placa del circuito: se obtiene el negativo de dicha foto y de esa forma la luz podrá pasar a través de las sendas impresas (circuito conductivo).

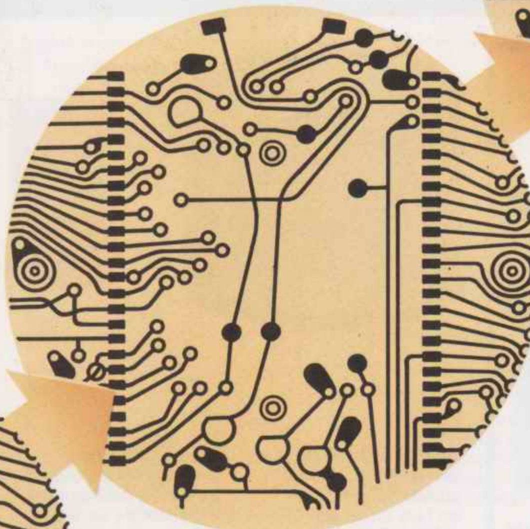
2) Se prepara una placa utilizando material aislante (por ejemplo, fibra de vidrio), uno de cuyos lados está recubierto por un material conductor (normalmente una hoja de cobre). Se aplica un *fotoresist* (sustancia química fotosensible que recubre y protege el cobre).

3) Se pone la placa sobre un "cuadro de exposición" de vidrio o plástico y se coloca el negativo en contacto con la superficie recubierta con el producto anterior. Llegados a este punto, se expone esa superficie a la luz ultravioleta durante dos o tres minutos.

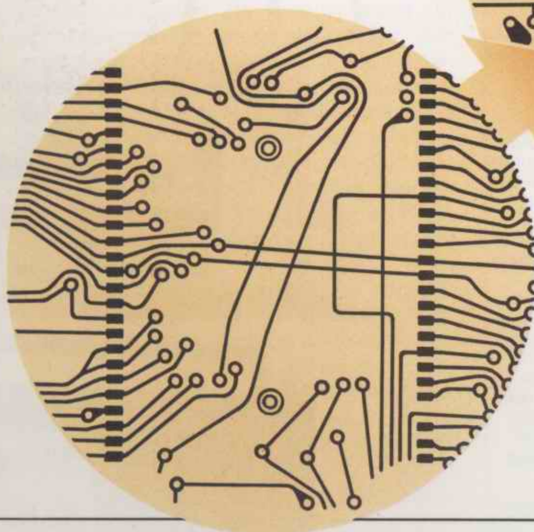
4) Se extrae la placa del cuadro y se la sumerge en la solución de revelado, agitándola cuidadosamente. La solución eliminará el *fotoresist* en las zonas de cobre que no han sido expuestas a la luz a través del negativo.



máscara definitiva



dibujo simplificado



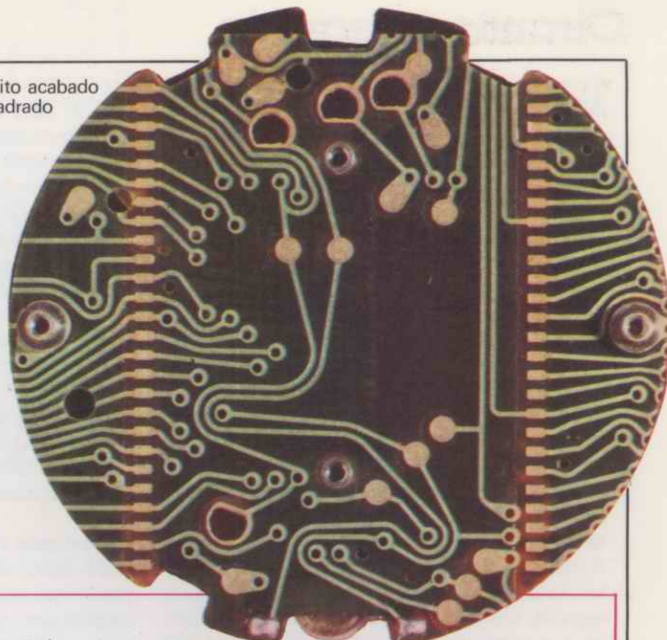
dibujo preliminar

El circuito impreso tiene la función de permitir la disposición de los componentes electrónicos sobre una placa-soporte en la forma correcta y proporcionando la conexión eléctrica entre los distintos terminales. Antes que nada, es necesario diseñar la posición de las patitas de cada componente y el esquema de las conexiones eléctricas. Sin embargo, en general, éstas se superponen (abajo, a la izquierda). Algunas superposiciones pueden eliminarse distribuyendo las conexiones sobre las dos caras de la placa. Seguidamente se pasa al diseño de los dos lados, en blanco y negro, sobre el papel.

5) Una vez descubierto el cobre en esos puntos, se saca la placa de la solución de revelado y se la sumerge en una solución ácida. El ácido disolverá el cobre no protegido por el recubrimiento aislante, dejando el material aislante y, debajo de éste, el cobre con el esquema del circuito.

6) Se elimina el material aislante que recubre el cobre del circuito frotando ligeramente con un disolvente, de modo que queden descubiertas las trazas de cobre y las áreas terminales (puntos de conexión de los componentes). El resultado es el circuito impreso. Ahora se taladran los puntos correspondientes a las áreas terminales para los componentes, que serán montados en el otro lado de la placa con los terminales o patas de los componentes pasando a través de dichos agujeros y soldados con estaño en las áreas terminales.

Fases de preparación del circuito. Del dibujo se pasa a la fotografía; la escala debe ser de 1/1. La película se extiende sobre una placa metalizada cubierta por un producto sensible a la luz. Se efectúa una exposición a la luz y, mediante un baño en determinados productos químicos, se revela la película sensible situada sobre el soporte. Seguidamente se ataca la capa de metal adherida a la placa aislante (normalmente, de fibra de vidrio adherida con resina → → poliéster), y el circuito está ya completo. Arriba, un circuito terminado, con la localización de los taladros.



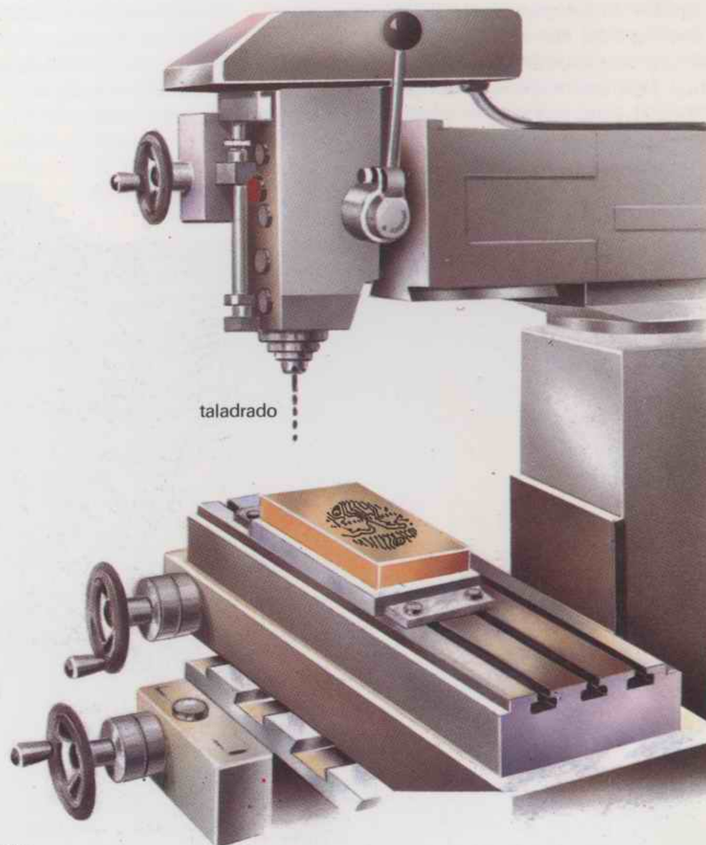


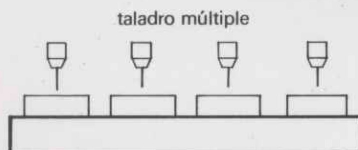
Actualidad y futuro La habilidad en la fabricación de circuitos y componentes cada vez más pequeños es la causa principal de los grandes progresos logrados en la electrónica aplicada. Los circuitos se imprimen de varias maneras. Los circuitos impresos flexibles se imprimen sobre placas que pueden doblarse; los circuitos multicapa son capas de circuitos separados por material aislante; los circuitos de capa gruesa y de capa delgada consisten en componentes situados sobre placas muy delgadas de material dieléctrico parecidas a obleas (*chips*). Estos métodos figuran en el desarrollo de los circuitos integrados, de los microcircuitos y de los ordenadores de gran potencia, que pueden llegar a contener millones de circuitos individuales.

Aunque todavía no se ha empezado a utilizar, ha sido proyectado un sistema televisivo microscópico que puede ser deglutido por el paciente y cuya misión consiste en proporcionar fotogramas del estómago con fines de diagnóstico. Se habla incluso de diseñar circuitos con material orgánico capaces de trabajar con el más perfecto ordenador orgánico: el cerebro humano. Sea cual sea el proceso evolutivo de estas nuevas técnicas, estará supeditado al desarrollo de los circuitos impresos.

Véase **Circuito electrónico; Circuito integrado; Diodo; Electrónica; Microcalculador; Miniaturización; Semiconductor; Transistor**

Para poder utilizar el circuito impreso es necesario taladrar los puntos en los cuales se introducirán los pies de los componentes electrónicos. Una placa puede tener incluso varios miles de taladros, razón por la cual ese proceso se ejecuta con máquinas automáticas programadas. Además, el taladrado se realiza en varias placas a la vez, atadas en paquetes. A la derecha puede verse un taladro realizando agujeros de un circuito experimental o prototipo; abajo, el esquema de una batería de cuatro taladros trabajando simultáneamente. Algunos de los agujeros se metalizarán posteriormente.







Circuito integrado

La era de la electrónica comenzó a finales del siglo XIX con el empleo de válvulas termoiónicas, o de vacío, para regular la tensión y el "comportamiento" de la corriente. Ya en nuestro siglo, a finales de los años cuarenta, con el desarrollo de los componentes electrónicos discretos (individuales) realizados con elementos sólidos semiconductores y la utilización de los circuitos impresos, nació la "segunda generación" de la electrónica de estado sólido. La "tercera generación" de la tecnología electrónica comenzó a principios de los años sesenta con el desarrollo de los circuitos integrados (IC).

Un IC es un circuito completo, un conjunto de circuitos o una combinación de elementos circuitales contenidos (o estratificados) en un pequeño trozo de material semiconductor, normalmente un cristal de silicio, llamado *chip*. Los componentes del circuito y los elementos aislantes se encuentran en las distintas zonas del cristal, utilizando para ello las propiedades quimicoeléctricas de los materiales semiconductores.

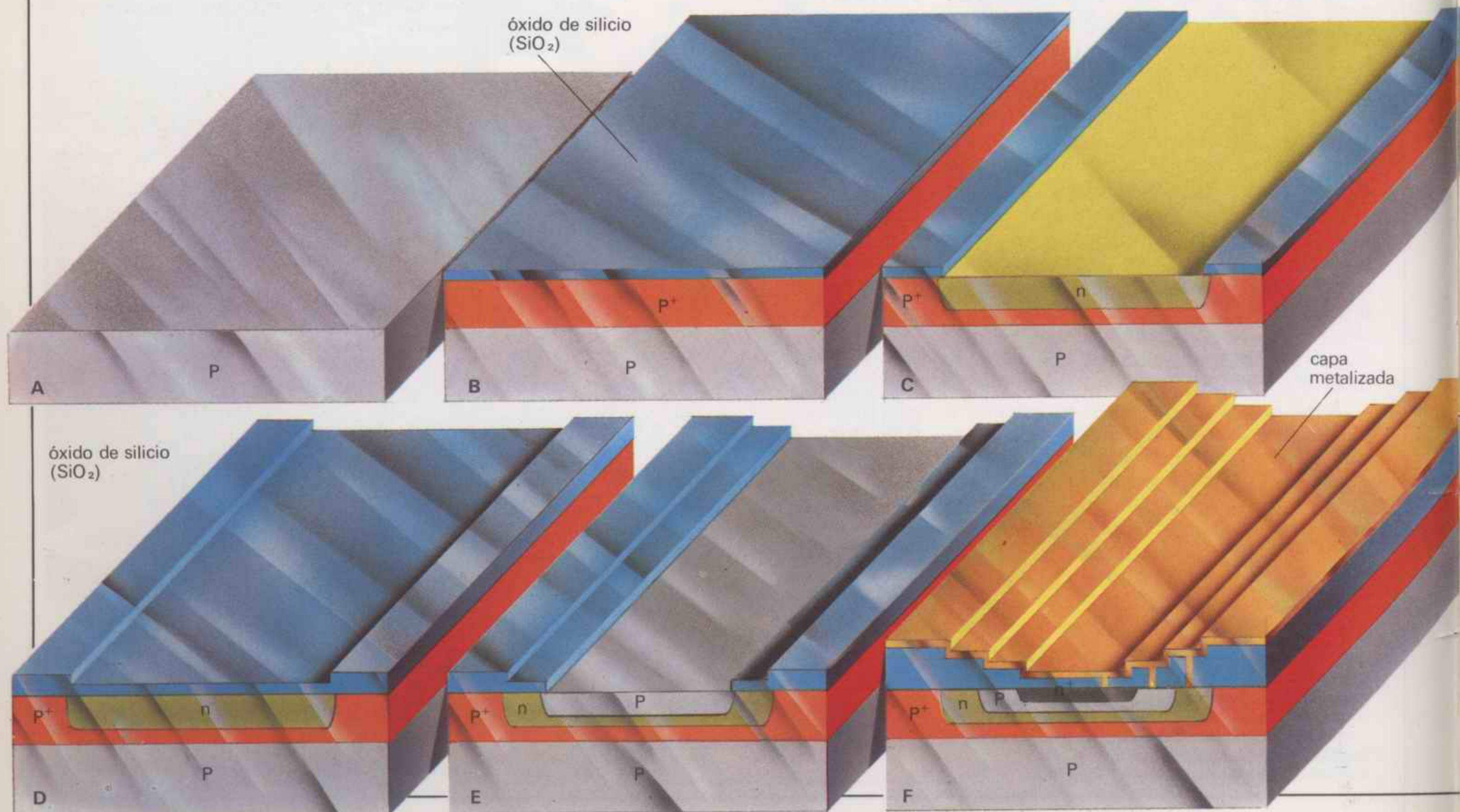
Cómo trabaja un circuito integrado Un trozo de cristal de silicio puro es eléctricamente neutro, es decir, no posee exceso ni déficit de electrones; sin embargo, cristales distintos o zonas distintas de un mismo cristal se puede hacer que tengan características positivas o negativas a través de un proceso consistente en la introducción de sustancias extrañas (impurezas) que originan un exceso de electrones (*silicio* cargado negativamente o de *tipo n*) o un déficit de electrones (*silicio* cargado positivamente o de *tipo p*). Las áreas deficitarias de electrones en el silicio de tipo *p* se llaman *huecos*. Como la característica fundamental de los electrones consiste en trasladarse del polo negativo al positivo cuando se aplica la corriente, la contraposición de áreas de tipo *n* y de tipo *p* en el *chip* de silicio determina el "comportamiento" de los electrones y define la función que tendrá el componente de esa área del *chip*.

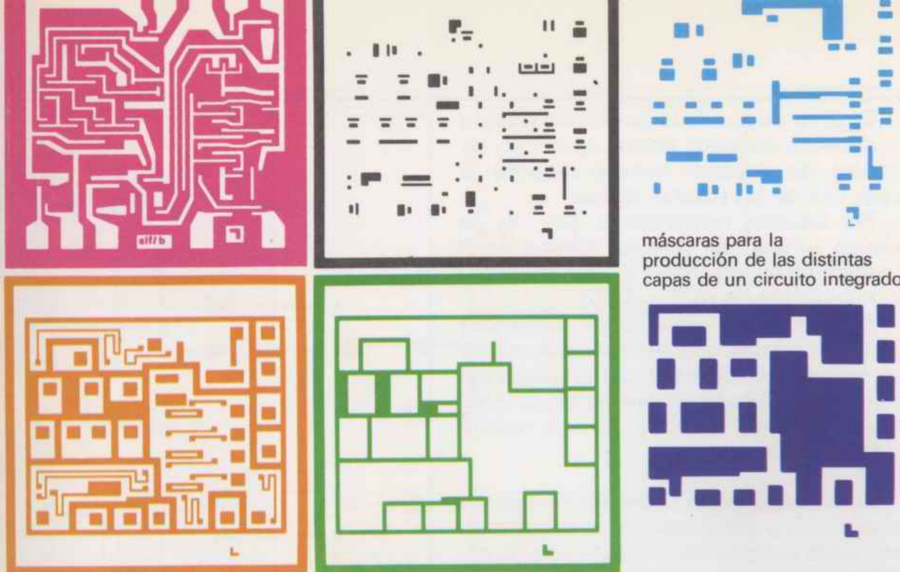
Por ejemplo, un condensador almacena cargas eléctricas de forma parecida a como lo hace una batería. En el caso de componentes discretos, esto se traduce en material cargado positivamente y cargado negativamente separados por una capa de material aislante.

Circuitos integrados híbridos y monolíticos Los circuitos integrados monolíticos consisten en componentes fabricados dentro de una capa base de material semiconductor (substrato). En un sistema de fabricación comúnmente utilizado, el *sistema de difusión epitaxial*, un cristal de silicio de tipo *p* es cortado en finas rodajas, llamadas "obleas" (*wafer*), y sucesivamente reducido hasta alcanzar el tamaño y la forma deseados. Una de sus caras es expuesta a vapores calientes que contienen impurezas de tipo *n*. Este proceso de difusión consigue que sobre el substrato original de tipo *p* se forme una delgada capa de silicio de tipo *n*, llamada *zona epitaxial*. El *chip* es posteriormente introducido en un horno en el que se inyecta oxígeno y el proceso de oxidación resultante forma sobre la superficie del *chip* una delgada capa de óxido de silicio que actúa como aislante sobre la capa *n*.

El proceso fotoquímico utilizado en la fabricación de las áreas de los componentes y de las áreas aislantes de un circuito integrado está representado por cuatro operaciones principales: oxidación, enmascaramiento, incisión y difusión. Después de la oxidación (que forma una capa aislante de óxido de silicio), dicha capa de óxido es recubierta por material fotorresistente (un material sensible a la luz, que recubre y protege la superficie). Las áreas en las que se deben ensamblar componentes son enmascaradas (cubiertas con un tipo de máscara) y el *chip* así preparado es expuesto a la luz ultravioleta. Las áreas expuestas de material fotorresistente y la zona epitaxial (tipo *n*) subyacente, que no han sido recubiertas por la máscara, son eliminadas por incisión (disolución mediante un producto químico), dejando expuestas las áreas originales de tipo *p*. La siguiente etapa consiste en una implantación iónica de impurezas tipo *p* en caliente sobre las áreas que han sido abiertas (difusión) para cubrir las "paredes laterales" del material de tipo *n* que sigue expuesto, dejando las zonas de silicio de tipo *n* recubiertas con óxido de silicio (capa protectora) y rodeadas por silicio de tipo *p*. Ahora los componentes pueden ser producidos en las zonas aisladas de tipo *n* mediante el mismo proceso, contraponiendo áreas positivas y negativas en diversas secciones y capas.

Con la utilización de máscaras múltiples o "pasos repetidos" con una sola máscara (para cada capa) se pueden fabricar simultáneamente muchos circuitos integrados en cada oblea (por ejemplo, la incisión y la difusión de una capa se reali-





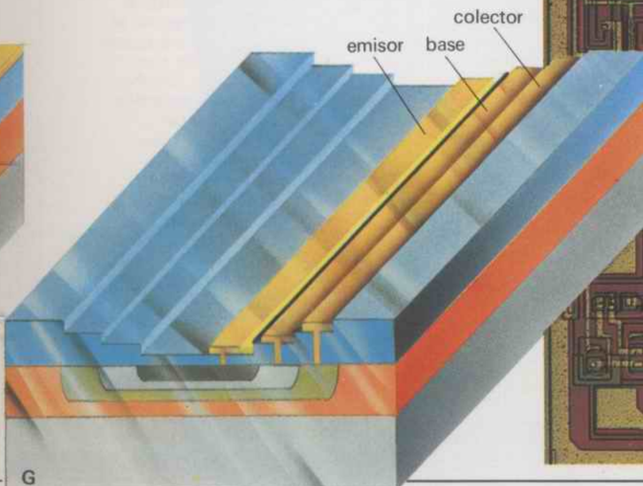
máscaras para la producción de las distintas capas de un circuito integrado

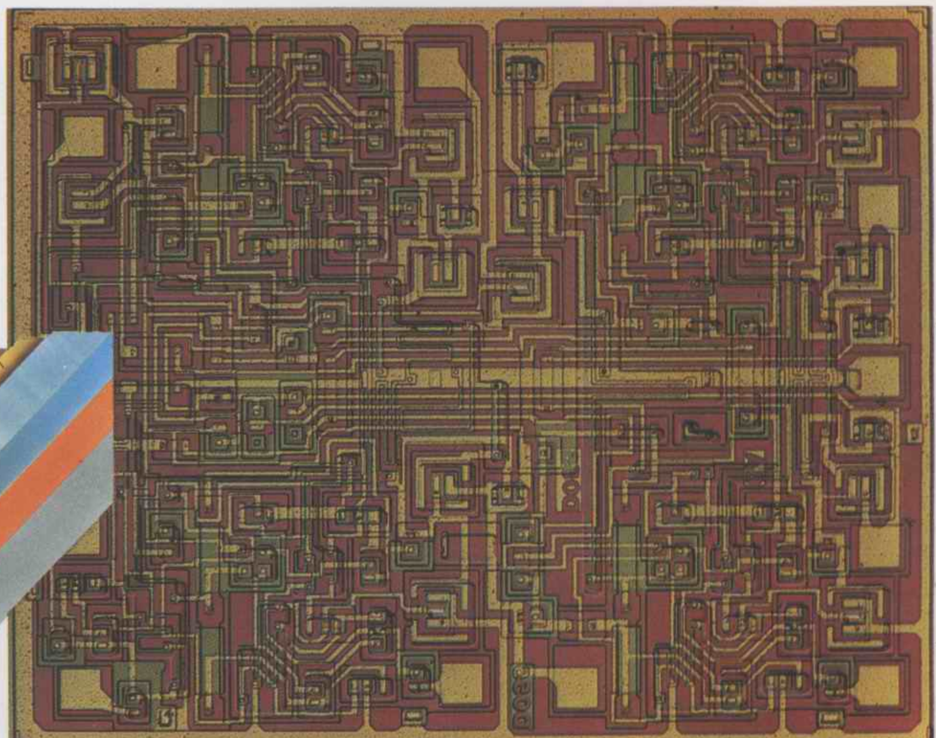
zan al mismo tiempo en la totalidad de la oblea, en lugar de hacerlo para cada *chip*); después se ensayan todos los *chips* antes de cortar la oblea para separarlos: los que superan la prueba son encapsulados y se repite el ensayo, los otros se desechan. Cuanto mayor es el número de *chips* producidos en cada oblea, mayor es el rendimiento y menor es el costo, ya que el tiempo y el trabajo invertidos en cada fase de la elaboración se reparten en un mayor número de unidades vendibles. Este concepto es muy importante, pues cuando el diseño de un determinado circuito integrado se desarrolla mejorando su rendimiento de producción en un período de meses o años, su precio disminuirá (a menudo en forma drástica). Esta es la razón por la cual los productos de microelectrónica representan una excepción en este período de gran inflación.

Debido a las variaciones de temperatura y a otros factores, los componentes del tipo de resistencias y condensadores suelen funcionar más eficazmente cuando se producen separadamente en un substrato base aislante. Esto se consigue vaporizando escalonadamente los materiales "resistivos", metálicos y dieléctricos a altas temperaturas y dejando que se condensen en áreas específicas no enmascaradas del substrato. Este método se conoce con el nombre de *proceso de película delgada*. Los circuitos integrados híbridos están formados por componentes de película delgada y monolíticos sobre un substrato común con conductores de interconexión (líneas de conducción), en los cuales los componentes de película delgada se encuentran en la superficie y lo componentes monolíticos se producen en material tipo *p* y *n*. Los sistemas de encendido electrónico de los automóviles son ejemplos de instrumentos que utilizan circuitos integrados híbridos con película gruesa Como las áreas tipo *p* y tipo *n* de un *chip* se producen modificando la estructura molecular del cristal semiconductor, cada zona del componente puede ser microscópica. La habilidad para construir circuitos completos que contengan miles de elementos circuitales en un trozo de silicio del tamaño de una lenteja representa el desarrollo más significativo de la electrónica desde la aparición del transistor de estado sólido, inventado en 1947 a partir de los trabajos de John Bardeen y Walter Brattain, quienes, dirigidos por William Shockley, trabajaban en los laboratorios Bell, y recibieron el Premio Nobel de Física (1956) por este descubrimiento.

Véase **Circuito lógico; Condensador y resistor; Microordenador; Miniaturización; Semiconductor; Transistor**

En esta página, abajo a la derecha, un circuito integrado terminado cuya superficie se observa a través de un microscopio de reflexión. El detalle más notable lo constituyen las tiras de conductores que interconexionan los distintos elementos del circuito: transistores, diodos, resistencias, condensadores, inductores, a veces repetidos por decenas de millares. En los circuitos integrados el espesor de sus distintas capas es tan pequeño que prácticamente pueden verse todas ellas, y obtener, a partir de la foto, la configuración de cada capa, tal como se indica arriba con los originales dibujos geométricos de las llamadas "máscaras" que representan la distribución del material que constituye cada capa. Por ejemplo, arriba a la izquierda puede verse el trazado de los conductores destinados a llevar la señal eléctrica desde los distintos elementos del circuito a los puntos de metalización, desde los que delgados hilos de oro las llevarán a las "patas" de la cápsula en la que se introducirá el circuito. En la página anterior, abajo, pueden verse las distintas etapas de la producción de circuitos integrados (existen también etapas intermedias): A, placa de soporte de material tipo *p*; B, la misma placa recubierta por una capa de material impresionable p^+, a su vez cubierta por una capa de óxido de silicio que actúa como aislante; C, en el centro ha sido abierta una ventana y en el hueco resultante se deposita material tipo *n*; D, ha sido aplicada una nueva capa de aislante; E, se abre una ventana en el centro y se aplica material tipo *p*; F, los ciclos descritos se repiten hasta que en el centro se tiene una sucesión $p\text{-}p^+\text{-}n\text{-}p\text{-}n^+$ con un recubrimiento compuesto por una delgada película de oro; G, otra incisión ha dejado oro únicamente en los puntos de metalización, que serán conectados a los terminales del circuito o interconectados entre sí.





Circuito lógico

Las calculadoras electrónicas están constituidas por miles de circuitos electrónicos que pueden almacenar, elaborar y transmitir miles y hasta millones de caracteres de información. Cuando el operador de un ordenador "pide" al mismo el suministro de información o la realización de cálculos, el aparato debe seleccionar electrónicamente la "respuesta" correcta. En un ordenador la información se almacena en los circuitos de memoria, mientras que la selección de los datos y los cálculos se realizan en los circuitos lógicos, que constituyen la *unidad central de proceso*.

Los ordenadores elaboran la información utilizando un lenguaje electrónico: la tensión aplicada al circuito o señales de corriente con distintas intensidades y/o frecuencia. El lenguaje que en su "alfabeto" utiliza únicamente dos tipos de elementos recibe el nombre de *sistema binario*. Este sistema, utilizado en las calculadoras digitales, permite que la información sea manipulada a través de circuitos lógicos. Los circuitos lógicos, al activarse ciertas "instrucciones" que conciernen a la señal o señales de entrada, producen una determinada "respuesta" (señal o señales de salida). Estas instrucciones reciben el nombre de *funciones lógicas*, y los circuitos que extraen las funciones lógicas son llamados "puertas" (*gates*).

Dichas puertas son interruptores electrónicos de dos posiciones, abierto-cerrado (*on-off*), y normalmente se utilizan transistores. Las condiciones de entrada están determinadas por los tipos y combinaciones de interruptores utilizados. Un interruptor puede estar cerrado (*off*), en cuyo caso se bloquea el flujo de señales a través del circuito, o abierto (*on*), permitiendo el paso a la señal, dependiendo de cuál de las dos señales binarias haya recibido.

Tipos de puertas Las puertas lógicas básicas son las llamadas *AND*, *OR* y *NOT*. Las puertas *AND* están formadas por dos dispositivos de entrada, los cuales deben encontrarse a la vez abiertos o "capacitados" para permitir el paso de corriente. En el sistema binario la intensidad de la corriente indica si se trata de una señal 0 (cero) o de una señal 1; 1 equivale al paso de corriente, mientras que 0 significa que no hay paso. Sin embargo, si uno de los dos interruptores del circuito *AND* recibe la señal 0, la puerta permanecerá cerrada (su salida será 0).

La puerta *OR* permite el paso de la información si uno de los interruptores o ambos están abiertos; es decir, la información puede pasar a través de una de las entradas o a través de las dos simultáneamente. Sólo cuando los dos interruptores reciben una señal de entrada equivalente a 0 se bloquea la información. La puerta *NOT* produce una señal de salida opuesta a la señal de entrada. Si una señal equivalente a 1 pasa a través de una puerta *NOT*, será transformada en una señal de salida 0, y viceversa: una señal de entrada 0 se transformará en una señal de salida 1.

En el recuadro de la ilustración (justo a la derecha de estas líneas) aparecen las "tablas de verdad" correspondientes a cada una de las puertas lógicas.

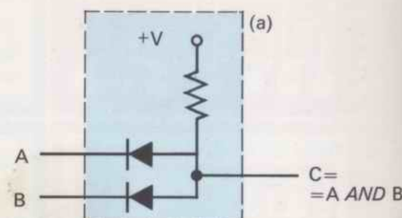
Por razones tecnológicas, hoy día se suelen utilizar las puertas lógicas *NOR* (combinación de *NOT* y *OR*) y *NAND* (combinación de *NOT* y *AND*).

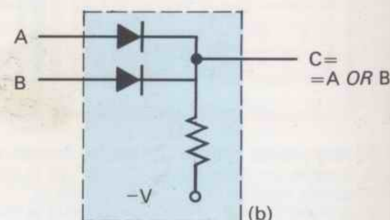
Su tabla de verdad se sigue fácilmente de las anteriores, aplicando a cada una de las entradas en primer lugar la operación *NOT* y a continuación calculando el *AND* o el *OR*, según se trata de una puerta *NAND* o *NOR*.

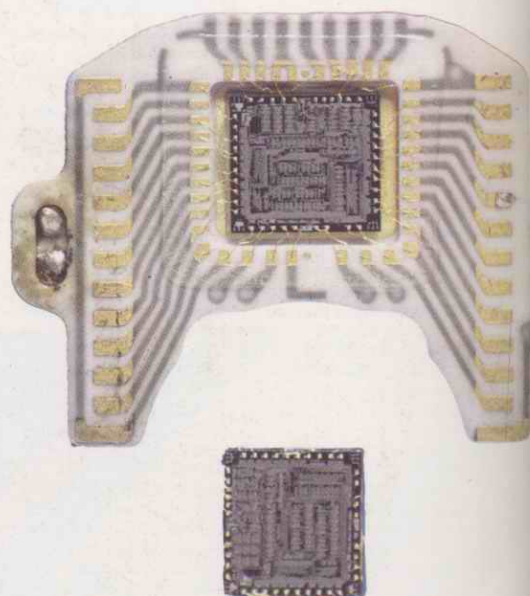
El sistema binario Las informaciones elaboradas a través de los circuitos lógicos están basadas en el mismo tipo de señales binarias que accionan las puertas. Procesadas en forma secuencial o en paralelo (a través de circuitos lógicos iguales y múltiples), estas señales pueden representar todas las letras del alfabeto y todos los números.

El sistema de numeración decimal normalizado, o Base 10, contiene diez unidades decimales: 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9. El siguiente número está expresado por las unidades 0 y 1 (10). El número siguiente a 99 es 100, el siguiente a 999 es 1.000 y así sucesivamente. El sistema binario, o en Base 2, utiliza únicamente las unidades binarias (*bit*) 0 y 1. Los números 0 y 1 son los mismos en ambos sistemas, pero en seguida comienzan las diferencias: el número 2 del sistema decimal corresponde al 10 del sistema binario, el 3 corresponde al 11 del binario, el 4 se expresa como 100 en el binario, el 5 es 101, el 6 es 110 y así sucesivamente. También a las letras se les asignan códigos binarios: la letra A puede ser representada por 1, B por 10, C por 11, D por 100... La información, una vez codificada, puede ser procesada por los circuitos lógicos (serie de puertas *OR*, *AND*, *NOT*) que constituyen un ordenador para obtener el resultado de salida.

Véase **Algebra de Boole, Calculadora de bolsillo; Ordenador**

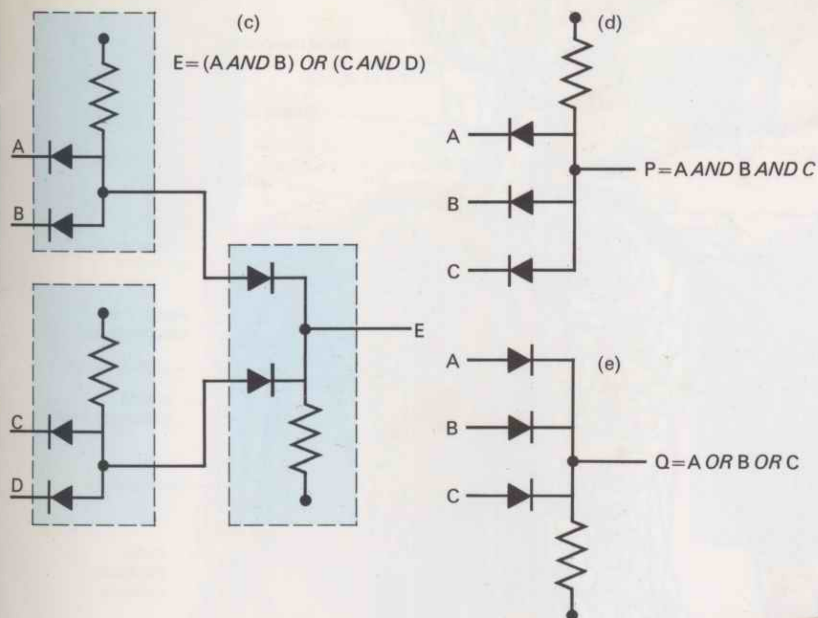








En estas dos páginas, arriba, puede verse cómo se realizan los circuitos lógicos básicos que después serán utilizados bajo la forma de circuitos integrados, de manera que un solo *chip* puede contener decenas de miles de aquéllos. En a), el circuito *AND*. Consta de dos diodos, una resistencia y una fuente de tensión designada por +V. Si en los terminales A y B la tensión es la misma que en +V, la tensión en C también lo es. Sin embargo, si uno o ambos terminales tienen potencial cero, la corriente fluirá hacia él (o ellos) y C tendrá ese mismo potencial. Es necesario que los dos terminales tengan potencial positivo para que C tenga potencial +V. En b) se representa el circuito *OR*. Está constituido por los mismos elementos que el anterior, pero esta vez el potencial es −V. Si A y B tienen potencial −V, C también lo tendrá. Sin embargo, basta que uno cualquiera de los terminales A o B tenga un potencial más elevado, para que la conducción a través del diodo correspondiente eleve el potencial de C hasta ese mismo nivel. En c) se representa la estructura de un circuito lógico compuesto por otros, del tipo de los descritos anteriormente, y que realiza una función lógica más compleja. De este modo, el circuito de arriba a la izquierda realiza la función *AND* entre A y B; el de abajo lo hace entre C y D. Por otro lado, el de abajo a la derecha realiza la función *OR* entre las salidas de los dos primeros. En definitiva, se obtiene la realización de (A *AND* B) *OR* (C *AND* D). En d) puede verse la realización con diodos y resistencias de un circuito de tres entradas *AND*; dicho circuito permite obtener la función lógica P=A *AND* B *AND* C. Abajo, en e), se muestra una puerta lógica *OR* de tres entradas; la función lógica que realiza es Q=A *OR* B *OR* C. Sobre estas líneas puede verse el pequeño elemento lógico de un circuito integrado, capaz de ejecutar cierto número de funciones lógicas, siempre las mismas, necesarias para el funcionamiento de un dispositivo que no se puede programar, el reloj. Las funciones lógicas que debe realizar han sido decididas de una vez durante el proyecto.



La placa del circuito integrado que se muestra abajo realiza un circuito lógico programable. En contra de lo que ocurre en los dispositivos destinados a realizar una sola función, un microprocesador debe ser capaz de hallar el valor de funciones lógicas distintas según las necesidades del programa o del cálculo. Pero también en este caso no hay diferencias en los circuitos lógicos elementales; la única diferencia radica en la posibilidad de enlazar los circuitos lógicos mediante conexiones establecidas por el programa. De esa forma la versatilidad de este tipo de dispositivos es casi ilimitada. En la fabricación de circuitos lógicos "cableados", es decir, conectados entre sí de forma definitiva, se pasa a través de una fase de proyecto en la cual el esquema del circuito debe ser consolidado y definido con exactitud, de lo contrario se corre el riesgo de producir circuitos muy caros e inservibles por estar equivocados en su concepción. Además, en la fase de fabricación es necesario poner la máxima atención en la optimización de materiales y cada función debe ser realizada con el menor número posible de circuitos.

Circulatorio, sistema

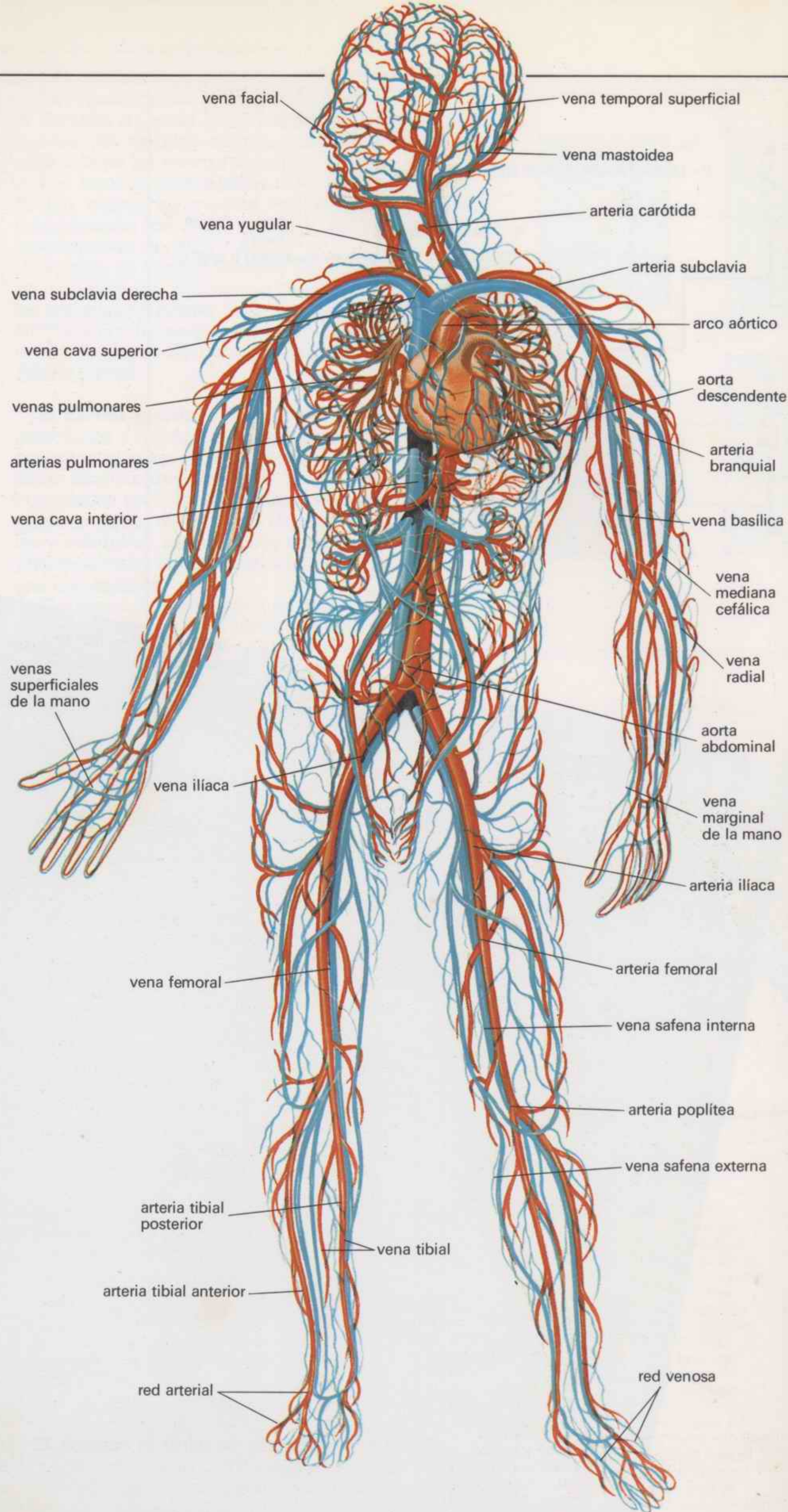
En el mundo de los seres vivientes, pocos sistemas de "entrega a domicilio" son más eficaces e ingeniosos que el sistema circulatorio del hombre. Su función es el transporte de oxígeno a cada una de las células del organismo y la eliminación —de los tejidos— del dióxido de carbono y de otros productos de desecho. Además, transporta sustancias nutritivas y regeneradoras y contiene los elementos que combaten las infecciones y que defienden nuestro organismo de los ataques bacterianos. Transporta, por otro lado, las hormonas, los enzimas y todos aquellos compuestos químicos que ejercen una acción de control sobre los procesos bioquímicos. Para llevar a cabo todas esas funciones en un individuo adulto, sólo son necesarios 5 ó 6 litros de materia prima.

La sangre circula por los vasos, arterias y venas, que tienen su origen en el corazón y que junto con este órgano constituyen el sistema circulatorio.

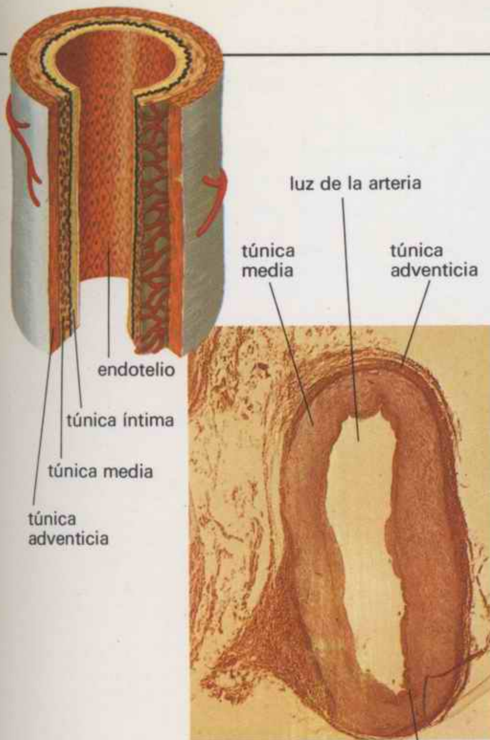
Las partes del sistema Son cuatro las partes esenciales que componen el sistema circulatorio del hombre: la sangre, el corazón (la bomba del sistema), una red de tubos (arterias, venas y capilares) y un sistema secundario de depuración de los tejidos corporales (el sistema linfático).

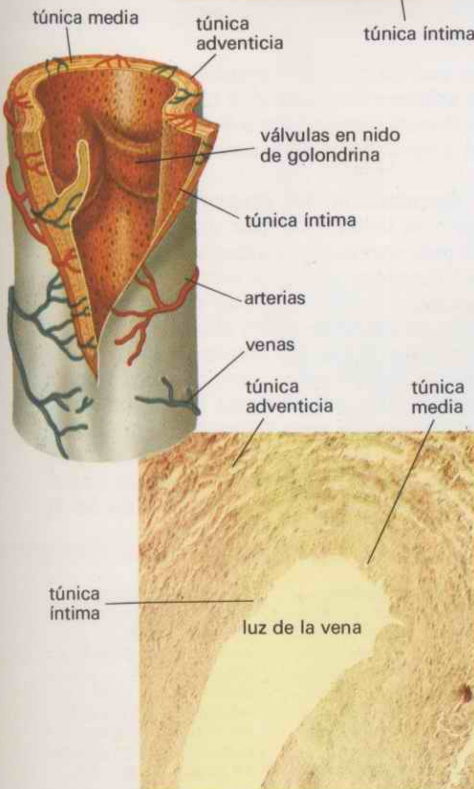
La sangre es un líquido de color rojo que se compone de una parte sólida o corpuscular (las células sanguíneas) y de una parte líquida (el plasma). El color de la sangre deriva de la hemoglobina, una molécula de gran tamaño que contiene hierro y que se encuentra en los glóbulos rojos sanguíneos; esta gran molécula está constituida por la asociación de una proteína y de un pigmento que transporta el 97% del oxígeno presente en la sangre. Tal sustancia recoge las moléculas de oxígeno de los lugares donde éstas abundan (los pulmones) y las libera en las zonas donde son escasas (los tejidos).

El músculo más atareado El corazón es, sin duda alguna, el órgano más atareado de todo el sistema circulatorio; se trata de una bomba constituida por tejido muscular y situada en el tórax. En el hombre, como también ocurre en el resto de los mamíferos y en las aves, el corazón está constituido por dos cavidades que, a su vez, están subdivididas. De ese modo, por una mitad del corazón, la derecha, circula la sangre que posteriormente será enviada a los pulmones (donde se liberará del dióxido de carbono y se enriquecerá en oxígeno), mientras que por las cavidades cardiacas de la izquierda circula la sangre oxigenada destinada a nutrir todo el organismo. En un hombre adulto, el corazón tiene poco más o menos las dimensiones de un puño; y a la edad de 70 años se habrá contraído y relajado más de dos mil quinientos millones de veces.

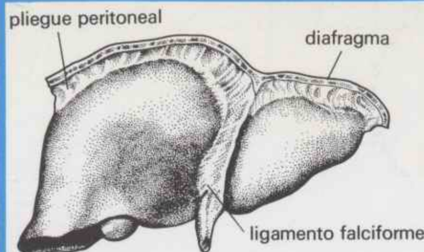


La aurícula derecha del corazón recibe de las venas sangre pobre en oxígeno. Esa sangre pasa al ventrículo derecho y de aquí a los pulmones a través de un tubo denominado *arteria pulmonar*. En los pulmones, la sangre se enriquece en oxígeno y retorna a la aurícula izquierda; a continuación pasa al ventrículo izquierdo, desde donde es enviada a todo el organismo mediante potentes contracciones. Las dos mitades del corazón están separadas por una pared muscular, llamada *septo interauricular e interventricular*. Las válvulas interpuestas entre las aurículas y los ventrículos impiden a la sangre circu-



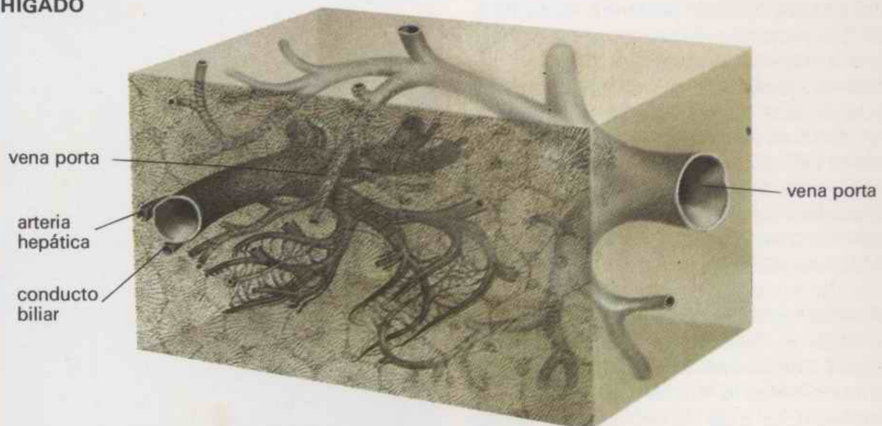


El conjunto formado por las venas, arterias y capilares que recorren por entero el cuerpo humano constituye, con el corazón que está en el centro, el sistema circulatorio (esquema de la página anterior). Las arterias (arriba) que llevan la sangre del corazón a la periferia y a los pulmones (donde será depurada) son vasos de estructura elástica formados por tres estratos o túnicas concéntricas: túnica íntima, media y adventicia. Las venas tienen una función centrípeta —conducen la sangre al corazón— y están formadas también por tres túnicas, aunque la media es más delgada y menos elástica que la de las arterias. En las paredes internas de las venas se encuentran las válvulas (pliegues membranosos en forma de nido de golondrina) que impiden el reflujo de la sangre a la periferia.



HIGADO

El hígado es la glándula más grande del organismo y está formada por cuatro lóbulos. Cada lóbulo, a su vez, está constituido por multitud de formaciones más pequeñas, denominadas *lobulillos hepáticos*. Los principales vasos del hígado son la "vena porta", a través de la cual llega al hígado la sangre proveniente del intestino, y la "arteria hepática", que posee una función nutritiva. Cada uno de estos vasos se subdivide en numerosas ramas más pequeñas que irrigan los lobulillos.



ESQUEMA DE LA CIRCULACION DEL LOBULILLO HEPATICO

lar en sentido contrario cuando se produce una contracción. La fase en la cual el corazón se contrae se denomina *sístole*, mientras que la fase en que se relaja se llama *diástole*.

La sangre recorre la porción arterial del sistema circulatorio impelida por la presión debida a la contracción del corazón; en la porción venosa circula gracias a una acción combinada de la presión y de la aspiración. La circulación sanguínea debe superar en su recorrido varias resistencias, representadas sobre todo por la viscosidad de la sangre y por el calibre de los vasos (resistencias periféricas).

Los vasos sanguíneos Las arterias poseen una función centrífuga, mientras que las venas tienen una función centrípeta. El corazón es el centro de ese sistema. En la llamada *circulación menor* (corazón-pulmón), las venas transportan la sangre oxigenada al corazón, y tienen, por tanto, una función centrípeta, mientras que las arterias pulmonares, que transportan la sangre del corazón a los pulmones, tienen una acción centrífuga. Los capilares son tubos microscópicos cuyas paredes están constituidas por un solo estrato celular; están presentes en todos los tejidos y se adentran en los espacios intercelulares.

La aorta es la arteria más importante del cuerpo. Sale del ventrículo izquierdo y tras un breve recorrido da origen a dos pequeñas ramas, las arterias coronarias, que se encargan de nutrir el corazón. El tronco braquiocefálico, que en griego significa "brazo-cabeza", es un grueso conducto que se divide en dos ramales, formando la arteria carótida derecha, que transporta la sangre a la región del cuello y a la cabeza. Los hombros y los brazos, por el contrario, son irrigados por las arterias subclavias. También la aorta, por debajo del arco aórtico, da ramas para la vasculación de los pulmones: las arterias bronquiales.

Por debajo del nivel del corazón se encuentran las arterias que llevan la sangre a los órganos del aparato digestivo y a los más importantes músculos del abdomen. También se hallan las arterias renales, que se ocupan de nutrir los riñones. En el extremo más inferior de la columna vertebral volvemos a encontrar la aorta, que se divide en las dos arterias ilíacas, encargadas de nutrir la pelvis, los miembros inferiores y los pies.

Entre las venas más importantes del organismo se encuentra la vena cava inferior, que lleva al corazón la sangre desoxigenada procedente de las extremidades inferiores y del abdomen; la vena cava superior, que drena las extremidades superiores, la cabeza, el cuello y el tórax; y, finalmente, el seno coronario, que proviene del músculo cardiaco. Muchas de las venas de grueso calibre poseen válvulas en forma de nido de golondrina que impiden el retroceso de la sangre.

El drenaje linfático El sistema linfático es similar al sistema venoso; en efecto, depura los tejidos periféricos y retorna líquidos al sistema circulatorio. Pero el líquido que circula por los vasos linfáticos es linfa, no sangre. Así como la sangre venosa se encarga de eliminar de los tejidos el dióxido de carbono, la linfa desempeña la función de recoger en sus capilares las proteínas de los tejidos y retornarlas a la corriente sanguínea, con el auxilio de la vena cava superior. El sistema linfático tiene también el cometido de introducir los anticuerpos en la sangre.

Véase **Corazón; Presión arterial; Sangre y grupos sanguíneos**

Circuncisión

La circuncisión ha sido interpretada de varias maneras, todas ellas correctas: como fenómeno religioso, como tradición de ciertos pueblos, como rito de pubertad, como método higiénico que recurre a la cirugía y, según algunos psicólogos, como una cruel y cruenta amputación. Desde el punto de vista médico, la circuncisión es una intervención quirúrgica bastante simple, que consiste en la extirpación del prepucio, repliege cutáneo que cubre la cabeza del pene.

Los orígenes de la circuncisión son desconocidos. De cualquier modo, se tiene constancia de que ya era practicada en tiempos antiguos; también se sabe que las operaciones más antiguas se realizaban con piedras de sílice. En la *Biblia* se alude a este rito y se sabe que en Egipto, ya antes del año 4000 a. de C., la operación se efectuaba en niños de 6 a 12 años.

Actualmente, en el seno de algunas poblaciones culturalmente apegadas a sus antiguas tradiciones, la circuncisión, como la clitoridectomía en las mujeres, forma parte integrante de las ceremonias de iniciación, que señalan el momento del tránsito de un muchacho y de una muchacha a la condición de hombre y de mujer adultos, aunque muchos de esos pueblos practican sólo una u otra.



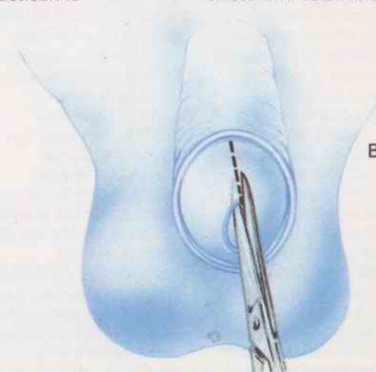
Las costumbres religiosas En el seno de pueblos pertenecientes a civilizaciones y creencias religiosas distintas, la circuncisión es practicada inmediatamente después del nacimiento y tiene un importante significado religioso. Para los hebreos, por ejemplo, la circuncisión tiene lugar en el octavo día tras el nacimiento, en la creencia de que esta operación sella cada vez la alianza de Yavé con el pueblo de Abraham.

En realidad, la circuncisión, con indiferencia de su carácter sagrado, surge de varias motivaciones de carácter higiénico-sanitario. Así, se ha demostrado que disminuye el riesgo de tumores del pene. En muchos países occidentales esta operación se practica generalmente en los recién nacidos, previo consentimiento de los padres, para prevenir infecciones y transtornos en los genitales.

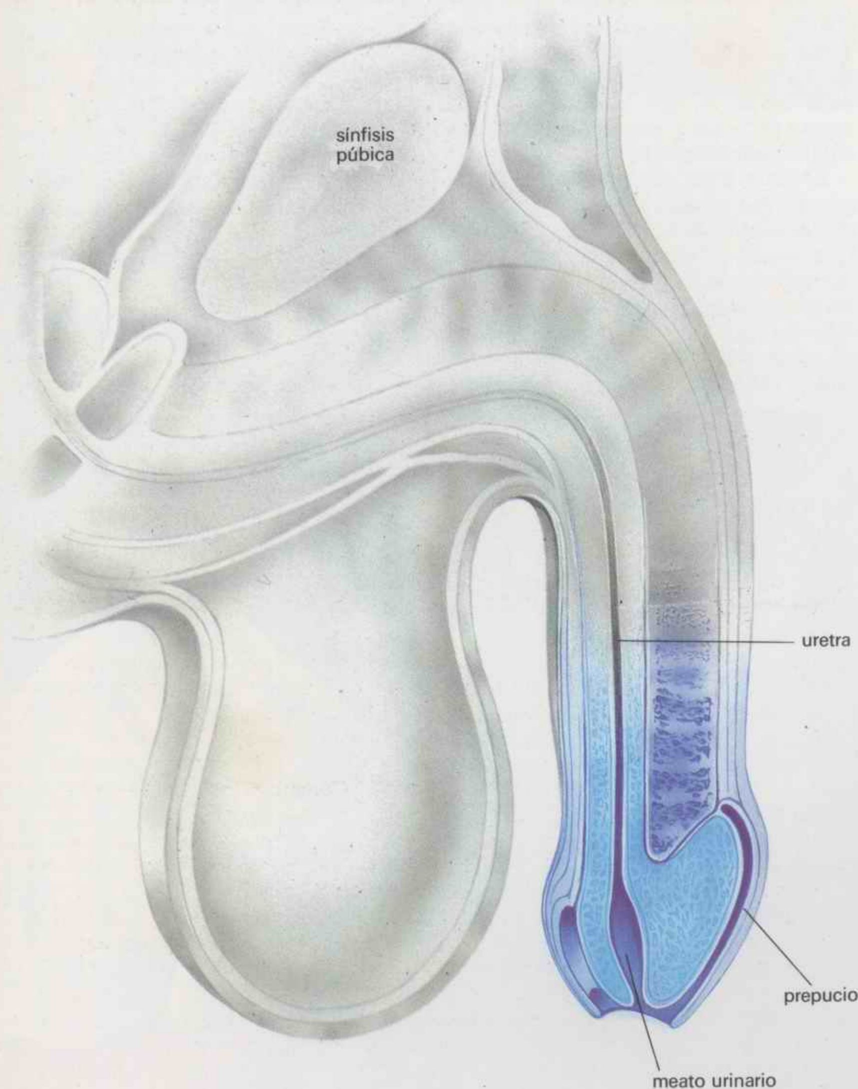
En efecto, las glándulas que existen debajo del prepucio emiten una secreción láctea que posee un olor intenso y que se denomina *esmegma*. Esta sustancia puede constituir un problema, no ya por su olor desagradable, sino porque puede ser caldo de cultivo en el que se desarrollen procesos infecciosos, que se evitan en parte con una higiene frecuente y cuidadosa. Por otra parte, la circuncisión reduce el riesgo de balanitis, es decir, de inflamación del glande, y corrige la fimosis (cuando, por un defecto congénito, el prepucio se adhiere demasiado al glande y origina problemas en cuanto a la emisión de orina y en la actividad sexual).

Constitución del prepucio El prepucio está constituido por un doble estrato de piel, similar a la muñeca de una manga de chaqueta; se inicia cerca del extremo del pene y recubre todo el glande, después se repliega hacia afuera y vuelve a adherirse al pene justamente debajo del glande. El pliegue externo del prepucio se une al pene un poco más abajo del inicio del pliegue interno. Después de la circuncisión, los dos pequeños anillos de piel del prepucio que permanecen se cosen juntos. Habitualmente, la operación de la





La circuncisión era ya conocida por los egipcios (arriba, bajorrelieve egipcio donde algunos médicos-sacerdotes la están practicando sobre varios pacientes) y por los hebreos, que la practicaban con el doble carácter iniciático y religioso. Se piensa que el rito religioso habría tenido su origen en prácticas cuyas motivaciones son de carácter higiénico-sanitario. Muchos pueblos primitivos, incluso actuales, practicaban y practican la circuncisión como parte de la ceremonia de la iniciación, realizada con motivo del paso de la pubertad a la edad adulta. Desde el punto de vista estrictamente médico, la circuncisión se realiza cuando existe una estenosis

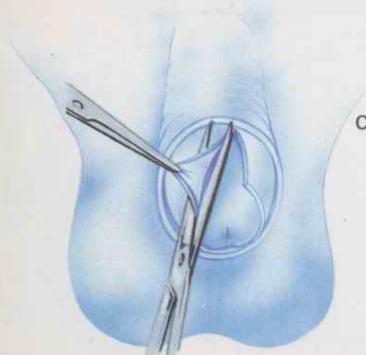


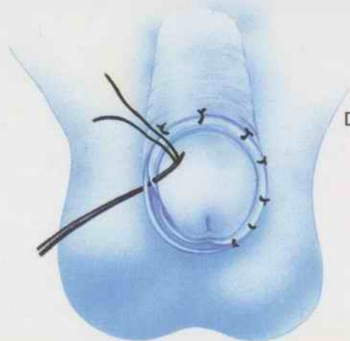
circuncisión se lleva a cabo en ambulatorio y con una de estas dos técnicas: a mano o recurriendo al "Plastibell". Cualquiera de estos dos métodos se inicia del mismo modo. Si el paciente es un hombre adulto, se precisa generalmente una anestesia local; los niños que tienen más de un año de edad, por el contrario, son sometidos a anestesia general, ya que corren más riesgos que un recién nacido. El cirujano, tras haber verificado que el prepucio está completamente separado del glande, descubre la cabeza del pene empujando hacia atrás el prepucio, al que aplica una pinza hemostática en la parte superior o dorsal. Después comienza la intervención propiamente dicha: el cirujano incide desde el punto de aplicación de la pinza hasta la base del prepucio, es decir, el extremo donde éste se une al pene.

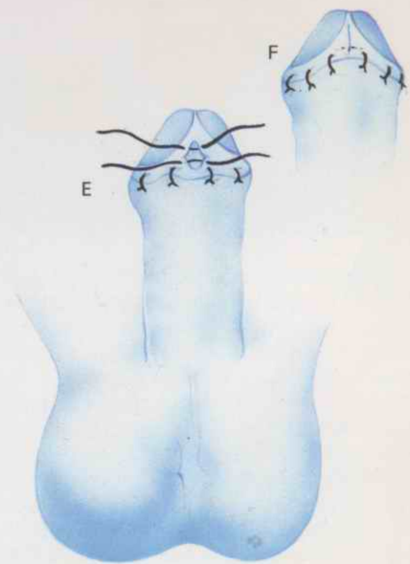
La técnica a mano En la circuncisión a mano, el cirujano repite la operación "pinza y corta" en torno a la parte inferior (o ventral) del prepucio. Ahora el prepucio se encuentra dividido en dos porciones semicirculares unidas al pene. Posteriormente, se cortan con una única incisión continua en torno a la base del glande. Se suturan los vasos sanguíneos y se vuelven a coser los dos fragmentos de piel que circundan el pene. En la circuncisión "Plastibell", se corta la parte dorsal del prepucio, y después se inserta un anillo de plástico entre el prepucio y la cabeza del pene. El anillo de plástico se fija estrechamente mediante puntos a la piel. La porción de prepucio que permanece entre las suturas y el anillo de plástico se incide sobre la línea de puntos. Tras una semana aproximadamente, la parte del prepucio que queda estrangulada por los puntos se extirpa como piel muerta.

Véase **Genital, aparato**

(estrechamiento) del prepucio (fimosis). En esta página, arriba, sección sagital del pene en condiciones normales. En la secuencia bajo estas líneas vemos, de izquierda a derecha, las distintas fases de una intervención. El prepucio, o capuchón cutáneomucoso que recubre al glande, es llevado hacia delante (A) y el cirujano procede a su sección. Después de la amputación, la lámina cutánea del prepucio se retrae bajo el frenillo (pliegue cutáneo situado en posición medial e inferior). A continuación, la lámina mucosa, donde se verifica la fimosis propiamente dicha, es seccionada y extirpada (B). También se secciona el frenillo y, si es necesario, se alarga para permitir una completa funcionalidad del glande (C). En los esquemas sucesivos (D, E, F) se ilustran las distintas fases de sutura. La técnica representada es la más utilizada para la circuncisión.







Cirugía

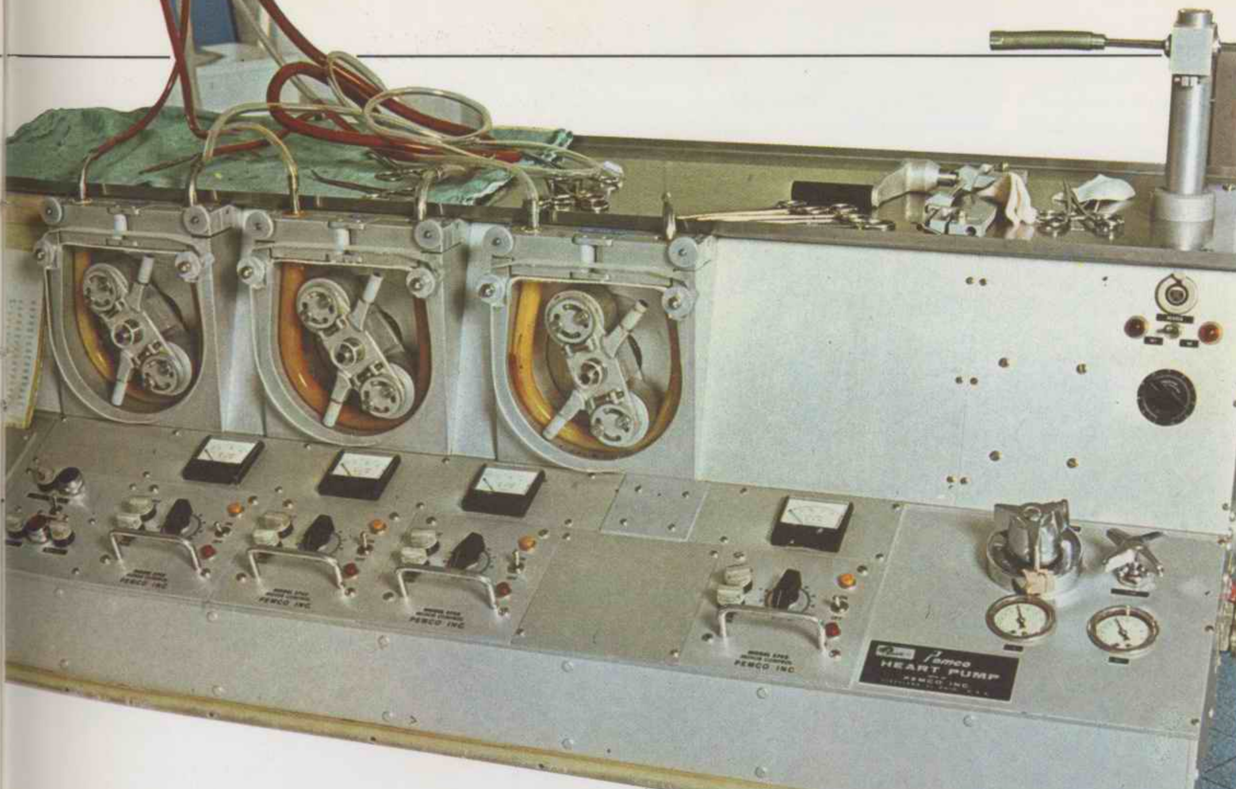
La Cirugía, término derivado del griego *cheír*, "mano" y *ergon*, "trabajo", es la rama de la Medicina que se ocupa del tratamiento de las lesiones y enfermedades mediante la aplicación directa de la mano o de instrumentos quirúrgicos con ella manejados. La cirugía es, en realidad, una actividad tan antigua como la vida del hombre sobre la tierra, si bien ha sido en los últimos años cuando ha experimentado sus más notables avances.

El legado médico de civilizaciones antiguas, como la egipcia, la india y la grecorromana, muestra que desde la más remota antiguedad el hombre ha intentado curar con herramientas o con sus propias manos, aunque a veces con técnicas muy rudimentarias y con un conocimiento defectuoso de la anatomía y fisiología del organismo. A principios de la Edad Media los cirujanos ya operaban cálculos, cataratas y hernias, y cuidaban las heridas y lesiones de la piel. Durante los siglos XIII y XIV la cirugía no merecía gran respeto y era evitada por los médicos de prestigio; los cirujanos eran individuos de clase baja, barberos, que con frecuencia eran objeto de burla y que debían aprender su oficio empíricamente.

El siglo XVIII, sin embargo, vio el comienzo del desarrollo de la moderna cirugía, asociada al nombre de John Hunter. Este excelente anatómico y cirujano escocés publicó trabajos sobre el tratamiento de las enfermedades venéreas, de las heridas por arma de fuego, sobre la ligadura de vasos arteriales en caso de aneurismas, dando así comienzo a la cirugía científica del siglo XIX, basada firmemente en la fisiología y en la patología. En ese siglo, a pesar de sus fundamentos científicos, las intervenciones quirúrgicas presentaban unas altas tasas de mortalidad. Cuatro eran los principales obstáculos del cirujano: el dolor, la infección, la hemorragia y el *shock*. En nuestros días estos obstáculos pueden ser ampliamente soslayados por las modernas técnicas quirúrgicas, con lo que el horizonte y las posibilidades de la cirugía se han ampliado considerablemente.

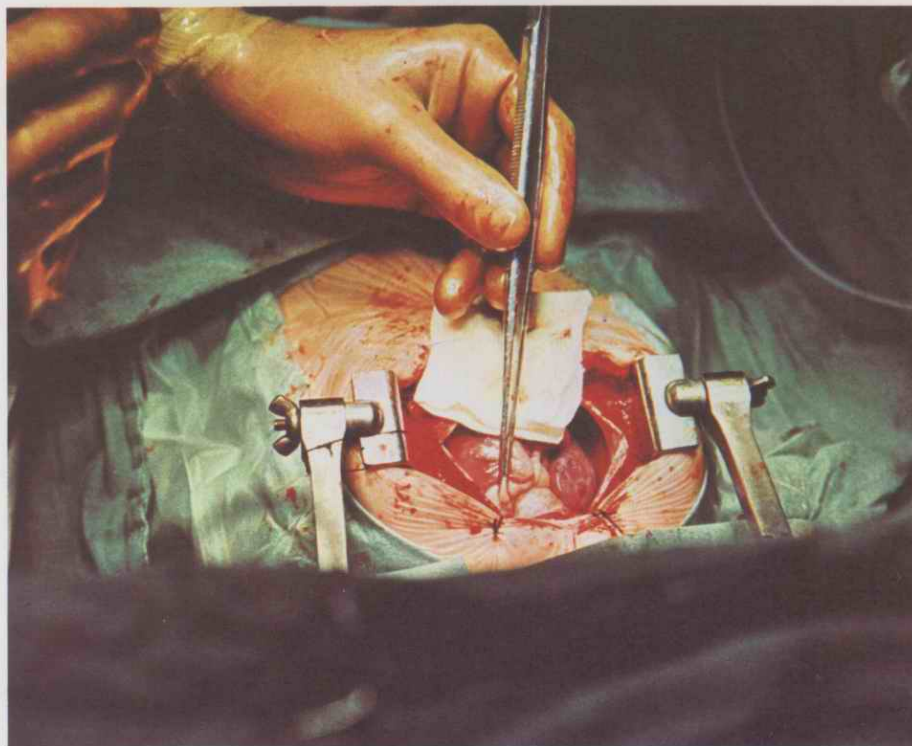
Anestesia El cirujano sólo pudo dominar el dolor tras el descubrimiento de la anestesia, que constituye, sin duda, uno de los más espectaculares avances de la historia de la Medicina. Ya desde tiempos





La máquina corazón-pulmón para la circulación extracorpórea representa el instrumento indispensable para llevar a cabo intervenciones a corazón abierto. En efecto, es posible de ese modo sustituir todas las funciones cardiacas y pulmonares durante el tiempo que dure la intervención, permitiendo operar en el corazón vacío. La sangre es extraída de las venas cavas y, después de su paso por un oxigenador y puesta a una temperatura adecuada, se envía a la arteria femoral. Asociado al circuito principal se encuentra el dispositivo para la perfusión coronaria. Las tres ventanas de la figura son las bombas de tambores rodantes.

La técnica quirúrgica utiliza en nuestros días un instrumental muy perfeccionado y se vale de métodos preparatorios ideados con el objeto de hacer posible intervenciones tan audaces como las que se llevan a cabo a corazón abierto. En la página anterior, un joven paciente es sometido a hipotermia profunda, en la cual la temperatura corporal desciende a unos 20°C, dando lugar a una disminución de la circulación de la sangre, que llega casi a su detención, e impidiendo así los trastornos metabólicos que la circulación extracorpórea ocasionaría en el organismo. De ese modo es posible intervenir incluso durante tres o cuatro horas sin interrupción: la hipotermia se consigue recubriendo al paciente con saquitos de hielo triturado. A la derecha de estas líneas: una vez aplicados los separadores, el cirujano realiza sobre el corazón abierto una transposición de los grandes vasos. Puede observarse el aislamiento del campo operatorio y la mano del cirujano con una pinza.



antiguos se empleaba el alcohol, el opio y la raíz de mandrágora para disminuir la sensación dolorosa, pero el empleo real de una anestesia general eficaz no se consiguió hasta el año 1842, cuando un médico rural de Georgia, Crawford W. Long, utilizó el éter para extirpar pequeños tumores cutáneos. William Morton, dentista de Boston, utilizó también el éter en 1946 para operar un linfoma de cuello en el hospital de Massachusetts. Al año siguiente, Young Simpson introdujo el cloroformo. De esta manera nació una nueva época en la cirugía, que ha ido progresando hasta las modernas técnicas de administración de anestésicos por vía intratraqueal e intravenosa, así como los métodos de anestesia por bloqueo nervioso, raquianestesia y muchos otros.

Shock Es un término ampliamente utilizado en medicina para describir un colapso gradual y progresivo de las funciones vitales ocasionado por una deficiente irrigación sanguínea de órganos y tejidos. El *shock* generalmente se produce por pérdida de sangre, aunque también puede originarse por causas diversas, como pérdida cuantiosa de líquidos, infarto de miocardio, embolia pulmonar, infección severa o pérdida del tono de los vasos. El estado de *shock* plenamente instaurado origina una circulación sanguínea muy empobrecida que afecta a todos los tejidos y que hace fracasar a los órganos vitales (cerebro, corazón, riñón). Sus síntomas principales incluyen un descenso de la presión arterial que puede ser muy marcado, taquicardia, sudoración, inquietud, frialdad y palidez cutáneas, y disminución del flujo urinario. Su tratamiento adecuado conlleva una reposición hidroelectrolítica adecuada para corregir las pérdidas del paciente y la administración de algunos fármacos vasoactivos. Estas medidas terapéuticas han permitido disminuir en nuestros días la mortalidad de este grave cuadro clínico.

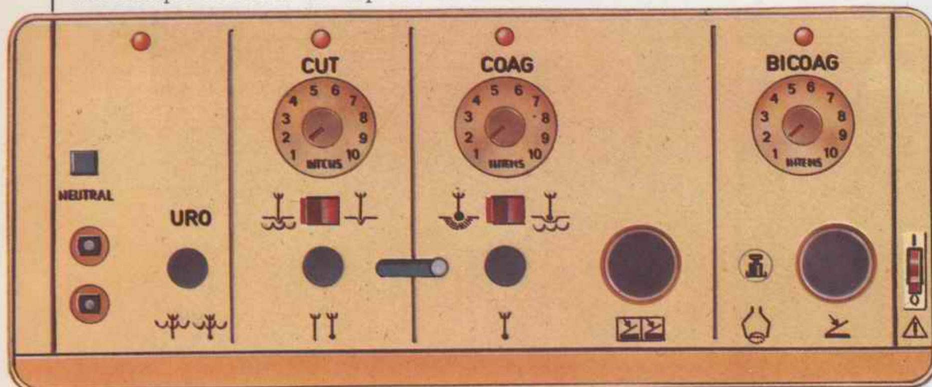
Instrumentos y técnicas quirúrgicas Al ser la cirugía una técnica de tratamiento que utiliza fundamentalmente las manos del médico para enfrentarse a la enfermedad, es natural que el progreso de esta ciencia haya avanzado de modo paralelo al progreso en los materiales, instrumentos y aparatos utilizados.

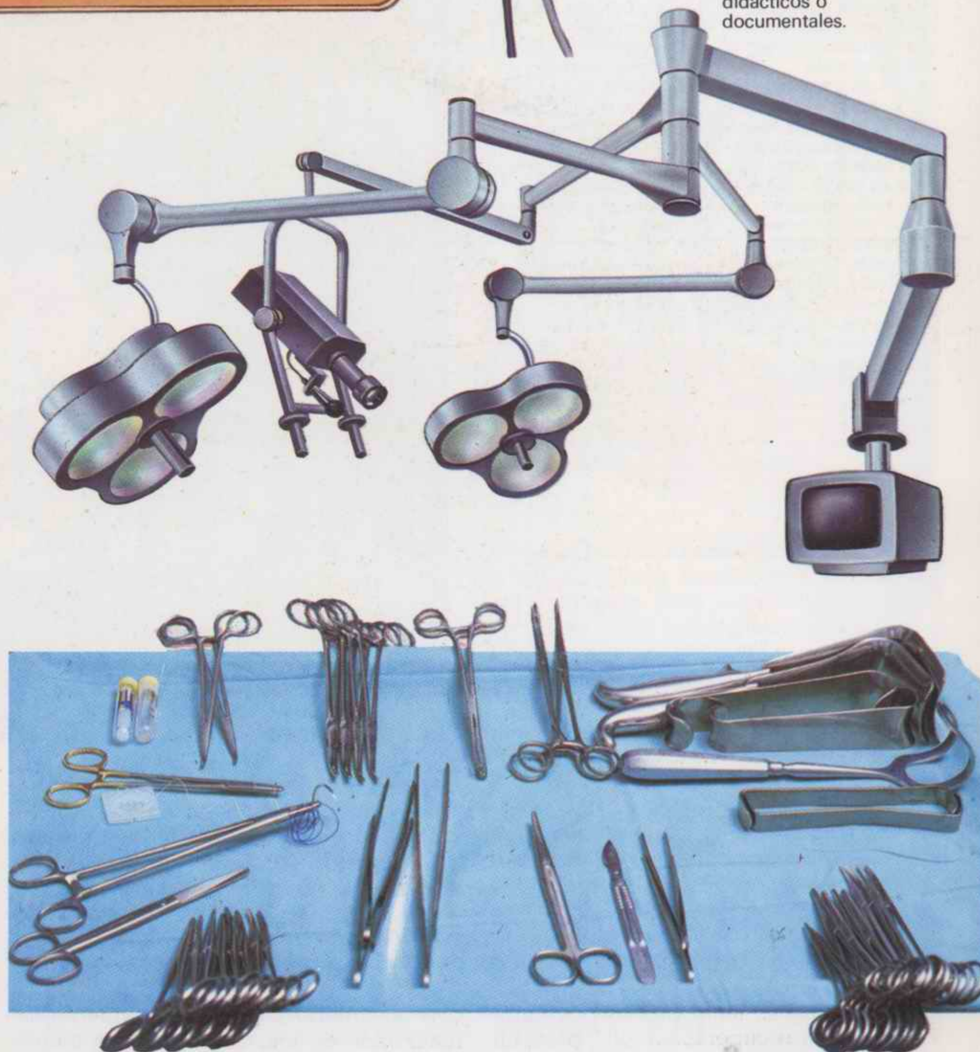
Cualquier intervención quirúrgica precisa unos instrumentos básicos para cortar y separar tejidos, aislar el campo quirúrgico, localizar y extirpar lesiones y posteriormente efectuar una correcta reposición de los tejidos, devolviendo a la parte del cuerpo afectada un aspecto lo más cercano posible a la normalidad. Para cortar y separar los tejidos, el cirujano dispone principalmente del bisturí y las tijeras, de los que existen infinidad de modelos diferentes adecuados a los distintos órganos y situaciones. Los fórceps, los separadores y las pinzas son también instrumentos de gran utilidad en el acto quirúrgico. Para la realización de la síntesis quirúrgica, esto es, la reparación de los tejidos una vez efectuada la intervención propiamente dicha, se utilizan distintos tipos de agujas y portaagujas con las que se pueden coser los tejidos cortados. Las agujas suelen ir directamente unidas a los hilos de sutura, que pueden ser reabsorbibles por el organismo o bien no reabsorbibles, requiriendo, en este último caso, su extracción posterior.

Las técnicas quirúrgicas habituales incluyen la *Cirugía de exéresis*, es decir, de extirpación de órganos o partes de órganos; la *Cirugía reparadora*, que trata de devolver una estructura o una función perdida, y desde hace ya bastantes años, la *Cirugía de transplante*, que realiza el intercambio de un órgano que ha fracasado por otro en perfecto estado procedente de un donante. Más recientemente han surgido nuevos procedimientos quirúrgicos basados en los enormes avances tecnológicos. La *Cirugía con láser*, por ejemplo, utiliza los rayos así llamados para destruir zonas de tejido dañadas; la *Cirugía cestereotáxica* es una técnica utilísima para intervenir en zonas muy localizadas del cerebro sin dañar al resto del tejido; la *Criocirugía* utiliza temperaturas extremadamente bajas para destruir tejidos enfermos; las técnicas de circulación extracorpórea han hecho posible las intervenciones a corazón abierto.

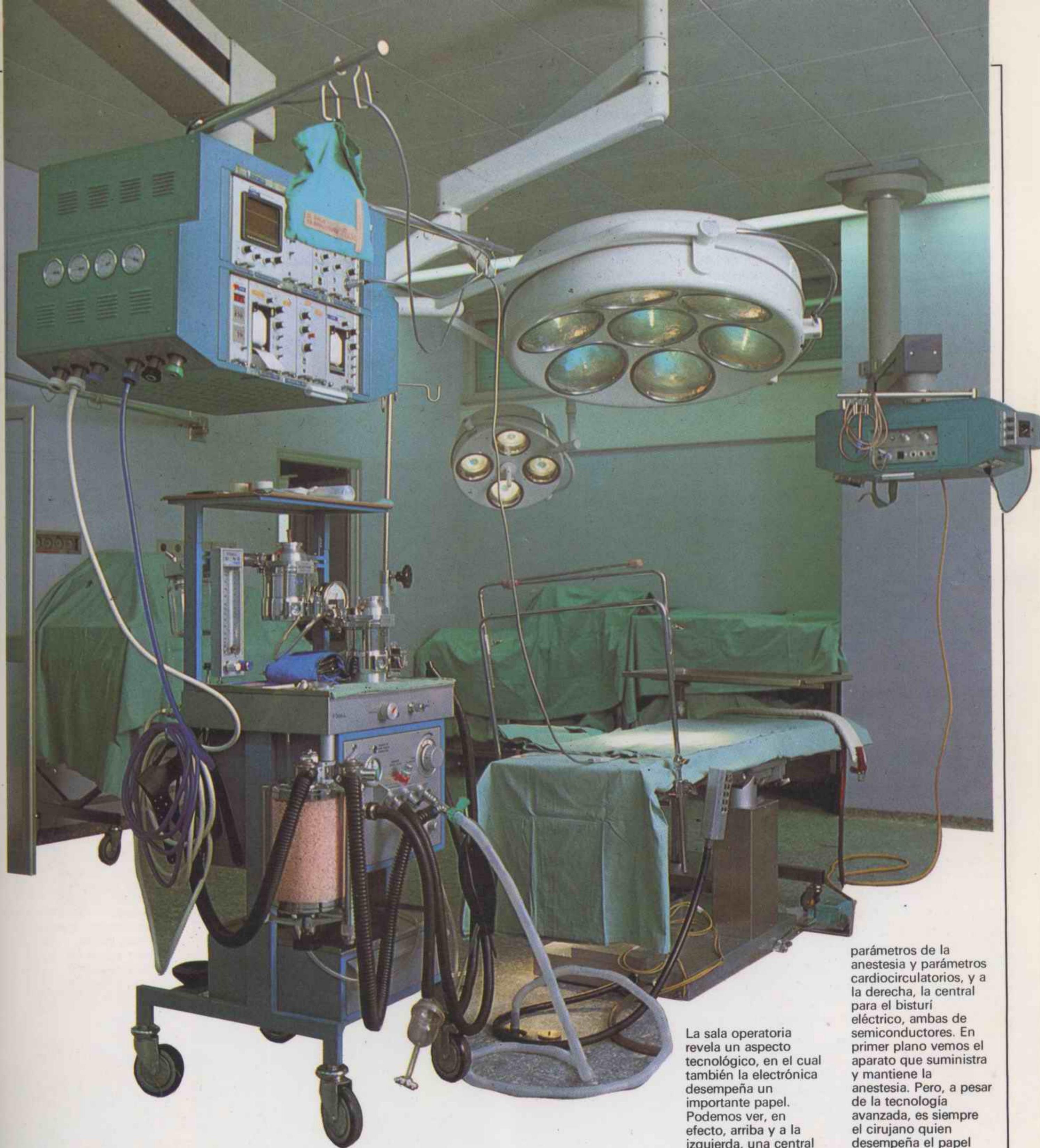


En la parte superior se ilustra el brazo colgante que lleva la centralita para el control de los parámetros de anestesia y circulación. Bajo estas líneas, la centralita para el bisturí electrónico con circuitación de estado sólido, adecuado para Urología y Cirugía general.





En la imagen inferior vemos una gran lámpara operatoria dotada de dos fuentes de luz que pueden retirarse. Lleva asociada una telecámara de circuito cerrado, con monitor de control, para la repetición de la intervención con fines didácticos o documentales.



La sala operatoria revela un aspecto tecnológico, en el cual también la electrónica desempeña un importante papel. Podemos ver, en efecto, arriba y a la izquierda, una central de control de los parámetros de la anestesia y parámetros cardiocirculatorios, y a la derecha, la central para el bisturí eléctrico, ambas de semiconductores. En primer plano vemos el aparato que suministra y mantiene la anestesia. Pero, a pesar de la tecnología avanzada, es siempre el cirujano quien desempeña el papel protagonista.

Antisepsia Durante mucho tiempo la curación de las heridas, tanto accidentales como causadas por el cirujano, era un aspecto descorazonador de la cirugía. Muchas veces se producía la llamada fiebre irritativa que originaba una acumulación de pus en las heridas. Unas veces el paciente seguía un lento proceso de curación hasta la recuperación total, pero, en muchas ocasiones, el paciente moría de infección postoperatoria a pesar de los cuidados del cirujano. La causa de estas infecciones no fue conocida hasta el descubrimiento de los microorganismos. Fue el cirujano inglés Joseph Lister quien, en 1896, se enfrentó por vez primera a esos problemas y combatió con éxito este grave obstáculo quirúrgico propugnando, con un criterio científico y moderno, la realización de una cirugía lo más limpia posible. Consideró que las supuraciones de las heridas se debían a contaminación bacteriana y empleó el ácido fénico para su desinfección; por ello se le considera el iniciador de la cirugía antiséptica. Ignacio Semmelweis, tocólogo vienés, logró disminuir la tasa de mortalidad por fiebre puerperal en las parturientas mediante el empleo de soluciones hipocloradas para el lavado de las manos antes de las operaciones obstétricas. Las investigaciones del científico francés Louis Pasteur, descubridor de la teoría microbiana de la en-

fermedad, supusieron un gran avance en la lucha contra la infección, ya que a partir de aquí se comienzan a combatir las enfermedades infecciosas atacando directamente a sus agentes causales.

La cirugía de nuestro tiempo dispone, por lo tanto, de armas eficaces para vencer las infecciones. Entre estos agentes terapéuticos se cuentan no sólo los antisépticos de uso externo utilizados por Lister, sino también un enorme número de antibióticos y quimioterápicos que pueden ser administrados al paciente internamente, y cuyo número se ha ido incrementando desde que Fleming descubriera la penicilina en 1928.

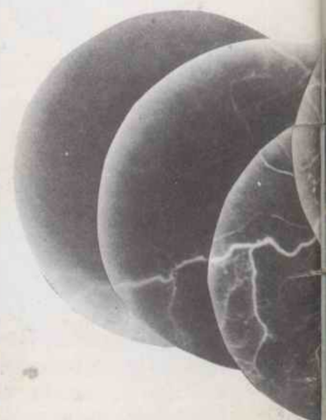
Hemostasia El tercer gran obstáculo con el que se enfrenta el cirujano es la pérdida de sangre (hemorragia) durante la intervención o a consecuencia de la misma, proceso íntimamente ligado al desarrollo del llamado *shock* hipovolémico. Para soslayar estos inconvenientes la cirugía actual dispone de un conjunto de técnicas que genéricamente se designan con el término de hemostasia. El cirujano, durante el acto quirúrgico, puede practicar una hemostasia provisional mediante el uso de torniquetes, presión digital o diversos taponamientos, o bien una hemostasia definitiva, mediante ligaduras de vasos, electrocoagulación y suturas vasculares. Las transfusiones de sangre son hoy en día posibles gracias a los descubrimientos de Landsteiner, en 1900, sobre los diversos grupos sanguíneos y las reacciones de aglutinación que se producen al mezclar sangres incompatibles. Pero, además, en nuestros días son posibles diversas actitudes terapéuticas según las necesidades de cada paciente, y así puede transfundirse sangre completa con todos sus elementos, concentrados de hematíes —que sólo contienen glóbulos rojos—, sustancias expansoras del plasma, y diversas soluciones salinas y glucosalinas para la reposición hidroelectrolítica.

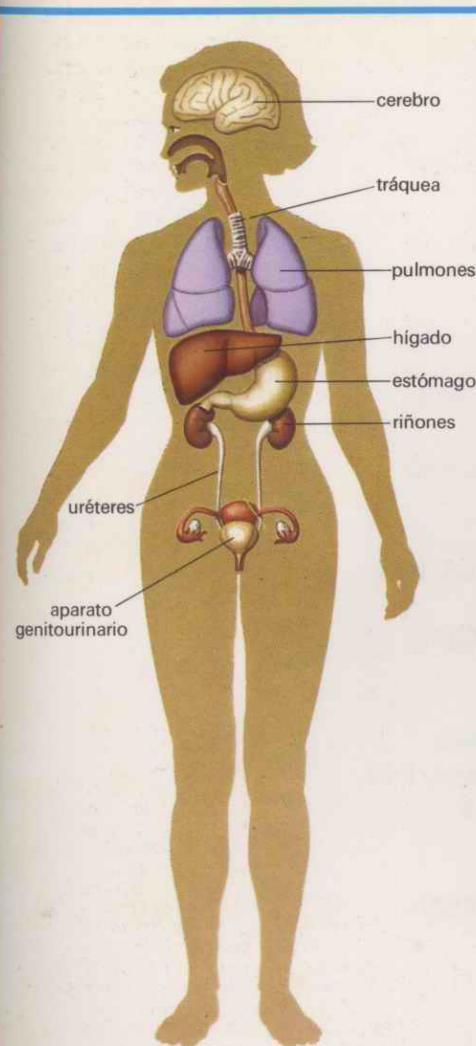
Cuidados pre y postoperatorios Con frecuencia el éxito de una intervención quirúrgica depende de los cuidados del paciente previos y posteriores al desarrollo de la operación propiamente dicha.

Una buena preparación preoperatoria del paciente conlleva la realización, en primer lugar, de una historia clínica y una exploración física completa, en la que se evalúe objetivamente la situación clínica del paciente. Los estudios preoperatorios de laboratorio deben incluir los recuentos sanguíneos habituales, pruebas de coagulación, un análisis elemental de orina, determinaciones de la uremia y la glucemia, y una serie de análisis específicos del tipo de enfermedad que porte el paciente. Debe tenerse asimismo en consideración la situación hemodinámica y la función respiratoria, así como la existencia o no de una infección activa. En la cirugía digestiva, por ejemplo, es importante la preparación intestinal con catárticos y enemas. Finalmente, conviene no olvidar el aspecto psicológico del paciente, generalmente inquieto ante la operación; la ansiedad puede ser disminuida administrando un sedante suave la noche previa a la intervención quirúrgica.

En las fronteras de la cirugía, una de las tecnologías más prometedoras es la utilización del rayo láser, un instrumento de gran potencia y precisión. Bajo estas líneas vemos un láser quirúrgico con la centralita de control que tiene una potencia de 100 vatios. Son varios los órganos en los cuales es posible hoy día intervenir mediante el bisturí de láser: los ojos (prevención del desprendimiento de la retina, glaucoma y cataratas), cerebro, dientes, bronquios (tumores), hígado, estómago (hemorragias), trompas uterinas, vejiga. El láser puede ser también utilizado para el diagnóstico topográfico en oncología y en cirugía dermatológica.

Valfivre





Se ilustran en esta figura órganos y estructuras susceptibles de una intervención con el rayo láser, ya sea para un diagnóstico topográfico preciso, especialmente en oncología, o bien para el tratamiento propiamente dicho, comprendida la acupuntura.

El cuidado postoperatorio del paciente estará de acuerdo con el tipo de intervención y las necesidades individuales de cada enfermo. Se vigilará la reanimación en una sala adecuada hasta que el paciente despierte de la anestesia, y pueda ser trasladado a su habitación. Posteriormente se vigilará en unas hojas postoperatorias adecuadas las principales constantes: temperatura, pulso, respiraciones, presión arterial, diuresis, y se anotará cualquier posible complicación que surja. Las complicaciones más habituales que pueden aparecer en un postoperatorio incluyen: hemorragias, retención de secreciones pulmonares, retención urinaria aguda, deshiscencia o infección de la herida quirúrgica, obstrucción intestinal, físulas e insuficiencia renal. En cada caso se instaurará lo más rápidamente posible el tratamiento específico a cada trastorno.

Las especialidades quirúrgicas Los enormes progresos experimentados por las ciencias médicas en general, y por la metodología y técnicas quirúrgicas en especial, han hecho que la figura heroica del cirujano capaz de operar tanto una fractura de un miembro, como una hernia o una lesión medular haya pasado a la historia y no sea un reflejo de la realidad actual. En nuestros días, la formación quirúrgica exige una necesaria especialización, como sucede en otras ramas de la Medicina. A continuación se detallan las especialidades quirúrgicas existentes en España, y que reconoce la vigente Ley sobre Especialidades Médicas:

Cirugía general, que se ocupa de las clásicas lesiones quirúrgicas, como infecciones localizadas (abscesos, etc.), quemaduras, quistes, heridas; y de lesiones de algunos órganos como el tiroides y la mama.

Cirugía digestiva, que trata los procesos del aparato digestivo que requieren una intervención, tales como tumores, úlceras, hernias, malformaciones.

Cirugía maxilofacial, especialidad destinada al tratamiento de las enfermedades de la cara y la boca.

Cirugía torácica, que abarca todos los procesos quirúrgicos de pulmones, bronquios, tráquea, mediastino y pleura.

Cirugía vascular, que se ocupa de las lesiones de los vasos (arterias, venas y linfáticos). Muy relacionada con ella está la *Cirugía cardiaca*, rama especializada que se encarga del tratamiento de algunas lesiones del corazón.

Neurocirugía, cuyas intervenciones afectan al interior del cráneo y del conducto raquídeo, los cuales alojan el sistema nervioso central.

Urología, que se ocupa del riñón y de las vías urinarias.

Traumatología y cirugía ortopédica, una amplísima rama quirúrgica que se encarga del tratamiento operatorio y ortopédico de las lesiones del aparato locomotor (huesos, articulaciones, músculos, tendones, ligamentos, etc.)

Oftalmología y otorrinolaringología, dos especialidades que se ocupan, respectivamente, de los procesos oculares y de la gargante, nariz y oídos.

Cirugía pediátrica, que trata del amplio campo de la patología quirúrgica infantil.

Cirugía plástica, que se ocupa de la reconstrucción de partes corporales heridas o dañadas.

Véase **Cirugía plástica, Transplante de órganos**

En estas dos figuras, abajo y a la derecha, se aprecia el resultado de la cirugía mediante láser aplicada a los ojos. En concreto, en la figura de la izquierda apreciamos un campo afecto de enfermedad vascular (trombosis), y en la figura de la derecha, el mismo campo tras el tratamiento con láser. Es posible observar cómo la intervención del láser es casi puntiforme, lo que permite una gran precisión.

Inst. Clínicos de Perfeccionamiento. Mario Citroni. Milán

Indice
Volumen III

